



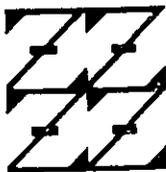
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ARRANQUE DE UN PAQUETE DE GENERACION DE ACIDO SULFUROSO EN UNA PLATAFORMA MARINA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA:
JESSICA BEATRIZ SERRANO LICEAGA

UNAM FES ZARAGOZA



LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXION

ASESOR: I.Q. RENE DE LA MORA MEDINA

MEXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2000



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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/0028/00**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNA: SERRANO LICEAGA JESSICA BEATRIZ  
P R E S E N T E.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. René de la Mora Medina</b>
<b>Vocal:</b>	<b>I.Q. Salvador Gallegos Ramales</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Rafael Sánchez Dirzo</b>
<b>Suplente:</b>	<b>M. en C. Pablo Eduardo Valero Tejeda</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Luz Elena Flores Bustamante</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t e n t a m e n t e**

**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**

México, D. F., 3 de Julio del 2000.

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**I.Q. ARTURO B. MENDEZ GUTIERREZ**

**SECRETARIA TECNICA**

# AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

## A DIOS....

POR PENSAR EN MI Y DARME LA EXISTENCIA, POR TODO LO BUENO Y LO DIFÍCIL QUE HAS PUESTO EN MI CAMINO, POR TODAS LAS PERSONAS QUE ME RODEAN, SIMPLEMENTE POR TODO.

MIL GRACIAS PADRE, HERMANO, AMIGO, PORQUE SOLO TU SABES EL SIGNIFICADO Y EL CAMINO QUE TIENE ESTO PARA MI Y AHORA SOLO PUEDO DECIR, GRACIAS SEÑOR.

VEAMOS HASTA DONDE ME DEJAS LLEGAR.....

## A MI MADRE

POR TUS MUCHOS AÑOS DE ESFUERZO, DEDICACIÓN, PREOCUPACIÓN Y AMOR. ESPERO QUE ESTO PUEDA RECOMPENSAR ALGO DE LO MUCHO QUE ME HAS DADO.

PERO PRINCIPALMENTE, GRACIAS POR DAR EL SI DE MI VIDA.

## A MI PADRE

TE AGRADEZCO EN VERDAD TODO LO QUE ME HAS DADO, PUES SE MUY BIEN QUE DESEAS LO MEJOR PARA MI PORQUE ME QUIERES Y ESO ES LA HERENCIA MAS VALIOSA QUE PUEDO TENER.

GRACIAS.....

## A MIS HERMANOS

AMERICA : POR TODO TU APOYO, CARIÑO, CONFIANZA, EJEMPLO, POR SER MI HERMANA MAYOR, TE QUIERO MUCHO.

EDUARDO: POR COMPARTIR TANTAS COSAS CONMIGO, POR CONFIAR EN MI, POR CRECER JUNTOS Y POR TU MISMO CARIÑO.

RICARDO: POR HABER DADO UN CAMBIO SIGNIFICATIVO A NUESTRAS VIDAS, POR SER EL PEQUEÑO Y ALEGRAR NUESTRA CASA CON TU PRESENCIA.

## A OSCAR

GRACIAS POR SER ALGUIEN TAN ESPECIAL EN MI VIDA, POR TODO EL TIEMPO, LAS COSAS Y EL CARIÑO QUE HEMOS COMPARTIDO..

A MIS AMIGOS DEL ALMA, IBETTE, GUILLERMO Y JUAN CARLOS, POR QUE CADA UNO DE USTEDES ES UN PILAR EN MI VIDA..

A LAS MADRES ANA LUISA Y MARTHA MESST, AL PADRE ERASMO, A LA DOCTORA HEIDI, POR FORMAR PARTE DE MI ESENCIA ESPIRITUAL.

# AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A LA FES ZARAGOZA, MI CASA DURANTE VARIOS AÑOS.

AL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO POR ABRIRME SUS PUERTAS.

DURANTE MI ESTANCIA EN EL IMP, CONOCI PERSONAS QUE NO SOLO ME BRINDARON SU GRAN AYUDA SINO TAMBIEN SU AMISTAD Y CONFIANZA, A ELLOS MIL GRACIAS.....

ING. MANUEL SANCHEZ ROSAS  
ING. ROBERTO CRUZ SOLIS  
ING. ARTURO ROMERO MAGAÑA  
ING. DELFINO GALICIA RAMIREZ  
ING. SALVADOR GALLEGOS RAMALES

A MIS SINODALES POR SU DISPOSICIÓN Y COMENTARIOS PARA MEJORAR ESTE TRABAJO.

AL ING. RENE DE LA MORA MEDINA POR LA CONFIANZA BRINDADA.

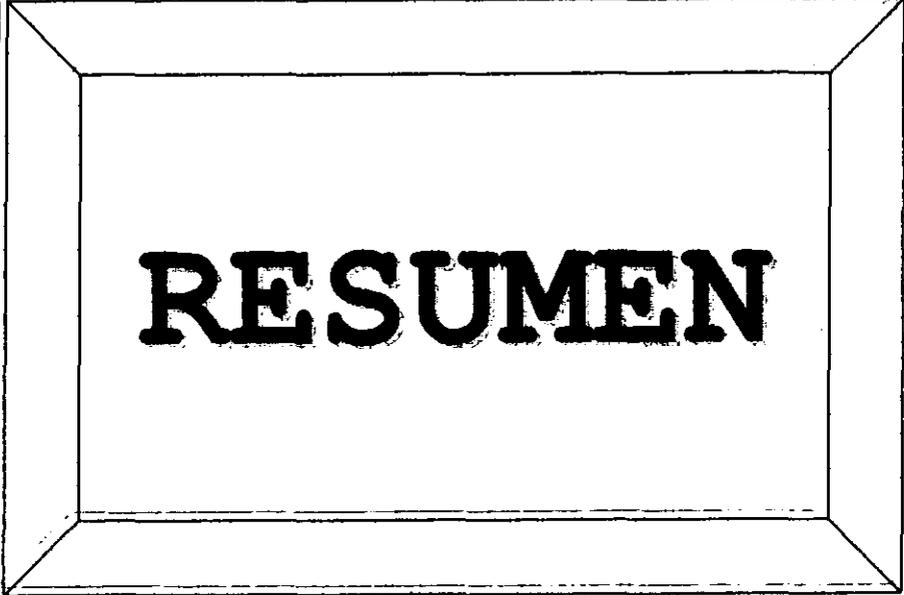
A MIS COMPAÑEROS DEL DEPARTAMENTO DE ANALISIS DE RIESGOS, A ROBERTO, A ANABEL, A LA SRA. PINA, A LOS CHICOS DEL CIRCULO, A LA SRITA. BLANCA.

A TODOS AQUELLOS QUE HAN FORMADO PARTE DE MI VIDA, YA SEA PARA BIEN O PARA MENOS BIEN, PUES A TRAVES DE ESO PUDE CRECER.

MI ULTIMA DEDICATORIA QUIERO QUE SEA PARA UN LUGAR QUE ME MOSTRO VIDA, AMOR, ALEGRIA, NECESIDAD, FE.... Y EL CUAL LLEVARE EN MI CORAZON MIENTRAS VIVA....

GRACIAS COMUNIDAD DE CHICALOTE.

---



**RESUMEN**

---

---

## *RESUMEN*

Actualmente la industria petrolera utiliza técnicas especiales para obtener más petróleo de los yacimientos marinos, de lo que es posible extraer con los mecanismos naturales de producción. Una de estas técnicas es la recuperación secundaria, la cual para este caso consiste en la inyección de agua a los pozos.

Por tal motivo considerando la influencia que tiene este método dentro de la producción de crudo, se tomó como un ejemplo de instalación, un paquete de generación de ácido sulfuroso, ya que por sus características particulares es de gran importancia dentro del sistema de tratamiento de agua para inyección en el Campo Abkatún de la Sonda de Campeche.

Es por eso que el presente trabajo pretende exponer de manera concisa, los procedimientos que se deben seguir para poner en operación dicho paquete, una vez que se han realizado todas las pruebas necesarias de preparación del equipo involucrado.

El desarrollo del tema implica un conocimiento relativamente detallado de la instalación así como del proceso, sus variables y problemas que es factible que se presenten al igual que sus posibles soluciones.

Finalmente se menciona también una metodología de arranque y Paro, así como algunas actividades especiales que debe efectuar el operador y que al mismo tiempo permiten identificar los síntomas y correcciones a los problemas que se presentan durante el arranque u operación normal.

---

---

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	i
1. GENERALIDADES .....	1
1.1. PLATAFORMAS MARINAS.....	1
1.2. RECUPERACIÓN DEL CRUDO.....	4
1.2.1. RECUPERACIÓN PRIMARIA.....	5
1.2.2. RECUPERACIÓN SECUNDARIA.....	5
1.3. TRATAMIENTO DEL AGUA.....	6
1.3.1. TRATAMIENTO FISICO.....	6
1.3.2. TRATAMIENTO QUIMICO.....	7
1.4. PROYECTO.....	8
1.4.1. INGENIERIA DE PROYECTOS.....	8
1.4.2. FASES DE UN PROYECTO.....	9
1.5. ARRANQUE.....	9
1.5.1. GRUPO DE ARRANQUE.....	10
1.5.2. PROGRAMA DE ARRANQUE.....	11
1.5.3. PRESUPUESTO PARA EL ARRANQUE.....	12
1.5.4. MANUAL DE OPERACIÓN.....	13
2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	18
2.1. PLATAFORMA DE TRATAMIENTO Y BOMBEO (P.T.B.).....	18
2.2. PLATAFORMA HABITACIONAL (P.H.).....	20
2.3. PLATAFORMAS SATELITES DE INYECCIÓN.....	21
2.4. PLATAFORMA DE CONTROL Y SERVICIOS (P.C.S.).....	22
3. DESCRIPCIÓN DEL PAQUETE.....	25
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	25
3.2. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO.....	28
3.2.1. SECCIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES PARA LA COMBUSTIÓN.....	28
3.2.2. SECCIÓN DE OXIDACIÓN Y APAGADO.....	33
3.2.3. SECCIÓN DE ABSORCIÓN.....	37
3.2.4. SECCIÓN DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN.....	43
3.3. FILOSOFIA DE CONTROL.....	45
3.4. RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD.....	48
3.4.1 RENDIMIENTO.....	48
3.4.2 FLEXIBILIDAD.....	50

4.	PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE Y PARO.....	51
4.1.	PRE-ARRANQUE .....	51
4.1.1.	REVISIÓN GENERAL.....	51
4.1.2.	LAVADO DE EQUIPO.....	52
4.1.3.	PRUEBAS HIDROSTÁTICAS Y NEUMÁTICAS.....	53
4.1.4.	PRUEBAS DE HERMETICIDAD.....	54
4.1.5.	PREPARACIÓN DE EQUIPO ELECTRICO.....	54
4.1.6.	COMPROBACIÓN DE CIRCUITOS DE CONTROL E INST.....	56
4.1.7.	CORRIDA INICIAL DE BOMBAS.....	57
4.1.8.	CORRIDA INICIAL DE SOPLADORES.....	59
4.1.9.	AJUSTE DE FLUJOS MINIMOS.....	59
4.1.10.	PRUEBAS A QUEMADORES.....	61
4.1.11.	PRUEBA DE ENCENDIDO DEL PILOTO EN QUEMADOR .....	61
4.1.12.	QUEMADOR DE LA CHIMENEA.....	62
4.2.	ARRANQUE DE LA PLANTA.....	65
4.2.1.	PREPARATIVOS.....	65
4.2.2.	PREPARACIÓN INICIAL DEL MATERIAL REFRACTARIO.....	66
4.2.3.	PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA PLANTA EN FRIO, EFECTUADO EL CURADO INICIAL.....	69
4.2.4.	CALENTAMIENTO DE LA CAMARA DE OXIDACIÓN DESPUÉS DE UN PARO PARCIAL.....	70
4.2.5.	ENFRIAMIENTO DE LA CAMARA DE OXIDACIÓN.....	71
4.2.6.	PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE .....	71
4.3.	PROCEDIMIENTO DE PARO.....	75
4.3.1.	PARO TOTAL.....	75
4.3.2.	PARO PARCIAL.....	78
4.3.3.	PARO PARCIAL PROGRAMADO.....	79
4.4.	CONSIDERACIONES AMBIENTALES.....	80
4.3.	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD.....	82

## CONCLUSIONES

## BIBLIOGRAFIA

## INFORMACIÓN DE REFERENCIA

---

---

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### CAPITULO 1 GENERALIDADES

FIGURA 1.1	COMPLEJO PETROQUIMICO.....	1
FIGURA 1.2	TRATAMIENTO DEL AGUA PARA INYECCIÓN A POZOS.....	7
FIGURA 1.3	FASES DE EJECUCIÓN DE UN PROYECTO.....	9

### CAPITULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

TABLA 2.1	ESPECIFICACIONES DEL AGUA.....	19
FIGURA 2.2	PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA.....	20
FIGURA 2.3	ESQUEMA DE UNA PLATAFORMA HABITACIONAL.....	21
FIGURA 2.1	ESQUEMA INTEGRAL DEL COMPLEJO ABKATÚN.....	23
FIGURA 2.4	PLATAFORMA DE CONTROL Y SERVICIOS.....	24

### CAPITULO 3 DESCRIPCIÓN DEL PAQUETE

TABLA 3.1	LISTA DE EQUIPO DEL PAQUETE.....	27
TABLA 3.2	ESTACIÓN DE BOTONES PARA GB-01/R.....	31
TABLA 3.3	ESTACIÓN DE BOTONES PARA GA-01/R.....	38
TABLA 3.4	LINEAS DE DESCARGA DE GA-01/R.....	38
TABLA 3.5	ESTACIÓN DE BOTONES PARA GA-02/R.....	44

### CAPITULO 4 PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE Y PARO

FIGURA 4.1	TABLERO DEL GENERADOR DE FLAMA.....	64
FIGURA 4.2	ESQUEMA DE CAMARA DE OXIDACION Y DUCTO.....	66
TABLA 4.1	CURADO INICIAL (TIEMPO vs TEMPERATURA).....	68
TABLA 4.2	CURADO DESPUES DE UN PARO.....	70
TABLA 4.3	CALENTAMIENTO DE LA CAMARA DE OXIDACION.....	70
FIGURA 4.3	TABLERO DE CONTROL LOCAL.....	72
TABLA 4.4	INSTRUMENTACION QUE GOBIERNA AL PAQUETE.....	73
FIGURA 4.4	INSTRUMENTOS PARA SERVICIOS AUXILIARES.....	76
FIGURA 4.5	INSTRUMENTOS PARA OXIDACIÓN Y APAGADO.....	76
FIGURA 4.6	INSTRUMENTOS PARA SECCIÓN DE ABSORCIÓN.....	77
FIGURA 4.7	CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN UN COMPLEJO.....	80
TABLA 4.5	EFFECTOS DEL SO <sub>2</sub> SOBRE EL HOMBRE.....	81

---



**INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

Los yacimientos petrolíferos desde su descubrimiento, su perforación inicial, su inicio de producción, hasta su explotación sistemática, van sufriendo la disminución de su presión natural, la cual en un inicio es suficiente para que la mezcla gas-aceite (petróleo crudo), salga por sí misma; sin embargo con el paso del tiempo y en la medida en que estén siendo explotados, se ha comprobado que los yacimientos van perdiendo esa presión natural y por tanto se vuelve necesario utilizar métodos especiales que proporcionen la energía necesaria al yacimiento, con el objeto de obtener un mayor volumen de hidrocarburos sobre aquel que se obtuvo durante la extracción convencional.

Pemex Exploración y Producción (PEP), tomando como base lo antes mencionado, desarrolló un programa de mantenimiento de presión en el Campo Abkatún, pues dicho campo tiene la característica principal de que el crudo que de él se obtiene es ligero y por tanto su valor en el mercado es mucho mejor cotizado.

Este programa consistió en inyectar agua de mar tratada como método de recuperación secundaria. Uno de los principales problemas que presentaba el agua, era su basicidad, pues tenía un pH de aproximadamente 8.2, lo cual generaba problemas tanto en el equipo como en el mismo yacimiento.

De acuerdo a diversos estudios que se realizaron para el tratamiento y neutralización del agua de mar, se pudo demostrar que el método de neutralización más accesible y menos costoso, era a través del empleo de ácido sulfuroso, pues una de las principales ventajas que presenta este método es su relativa facilidad de obtención, ya que éste se obtiene a partir de la oxidación del gas ácido (ácido sulfhídrico) que proviene como desecho de las endulzadoras y además se obtiene a muy baja pero suficiente concentración, para disminuir el pH del agua.

Debido a la importancia que tiene dicho ácido dentro del proceso de recuperación de crudo, el trabajo realizado en este tema de tesis, tiene como función primordial, describir de manera específica los pasos que se deben seguir para poner en marcha un paquete de generación de ácido sulfuroso, tomando en consideración las funciones principales que afectan tal operación y que al mismo tiempo sea de gran utilidad para todos aquellos que se enfrenten al arranque ya sea de equipos similares o de paquetes del mismo tipo, ya que este trabajo puede ser tomado como una especie de manual de operación, donde se menciona primero que nada como esta conformado tal documento y posteriormente, los parámetros que se involucran en cada sección del proceso, así como algunas variables a controlar.

Para la realización de este trabajo se tomó la experiencia adquirida por el personal de operación que participó en dicho arranque.

A continuación se describe de manera general la organización de este trabajo:

Capítulo 1. Generalidades. En esta parte se presentan definiciones de algunos conceptos mencionados a lo largo del presente trabajo, las cuales por su naturaleza, no son del dominio público, como por ejemplo tipos de plataformas marinas, recuperación del crudo, tratamiento del agua, fases de un proyecto, arranque, manual de operación, etc.; y con ello conocer a grandes rasgos como se involucran estos conceptos dentro del tema.

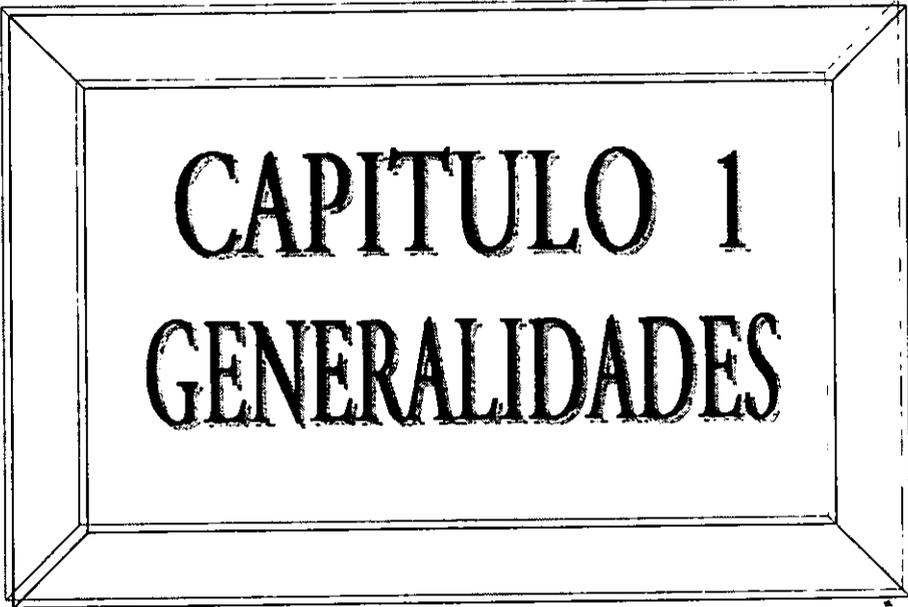
Capítulo 2. Descripción de la Instalación. Aquí se describe la forma en que está conformado el complejo Abkatún de Inyección de Agua y sus plataformas periféricas (satélites) asociadas; es decir las plataformas que lo integran y la función de cada una de ellas.

Capítulo 3. Descripción de la Instalación. En esta parte se describe de manera más específica la función del paquete de generación de ácido sulfuroso, esto es, se proporciona la Descripción del Proceso, la Descripción de Flujo, se presentan Diagramas de Tubería e Instrumentación y de Flujo de Proceso, se definen además la Filosofía de Control, el Rendimiento y la Flexibilidad, con el propósito de conocer los factores que gobiernan el proceso.

Capítulo 4. Procedimientos de Arranque y Paro. En este punto se presentan los lineamientos que conducen al arranque de una instalación iniciando desde la etapa de revisión de la misma, pasando por los preparativos y pruebas preliminares para finalmente ejecutar el arranque y estabilización del proceso, tomando en cuenta las causas que conllevan a un paro ya sea total, parcial o parcial programado, las consideraciones ambientales y de seguridad del paquete.

La organización de este trabajo pretende ir de lo general a lo específico, y de esta manera tener un mejor entendimiento del funcionamiento del paquete.

---



**CAPITULO 1**  
**GENERALIDADES**

## 1.1. PLATAFORMAS MARINAS

A unos setenta kilómetros de tierra campechana, desde el fondo del mar emergen insólitas estructuras industriales de hierro. Son las plataformas petroleras que hacen posible la exploración, la perforación y la explotación de los grandes yacimientos marinos de hidrocarburos, localizados en la Sonda de Campeche.

Las plataformas marinas son impresionantes estructuras de acero con intrincadas instalaciones industriales, conformadas de acuerdo a las funciones de cada una de ellas.

Existen diferentes tipos de plataformas marinas, que se consideran esenciales dentro del proceso de extracción y producción de hidrocarburos, estas plataformas son las de perforación, producción, enlace, compresión, rebombeo y habitacional. Hay otro tipo de plataformas que no participan directamente en el proceso, pero también se puede decir que son de gran importancia, ya que proporcionan los servicios necesarios a las instalaciones básicas, permitiendo con ello su mejor funcionamiento, algunas de estas plataformas a las que llamaremos de diversos servicios son las de telecomunicaciones, de inyección, etc.

Cuando las plataformas se encuentran en conjunto e interconectadas entre sí por medio de puentes, se dice que es un *complejo* (ver figura 1.1.).

Pero a fin de cuentas, no sólo se trata de un conjunto de instalaciones muy especiales dentro de la actividad petrolera, sino realmente de un mundo diferente donde el trabajador vive y trabaja en el aislamiento temporal con tierra.

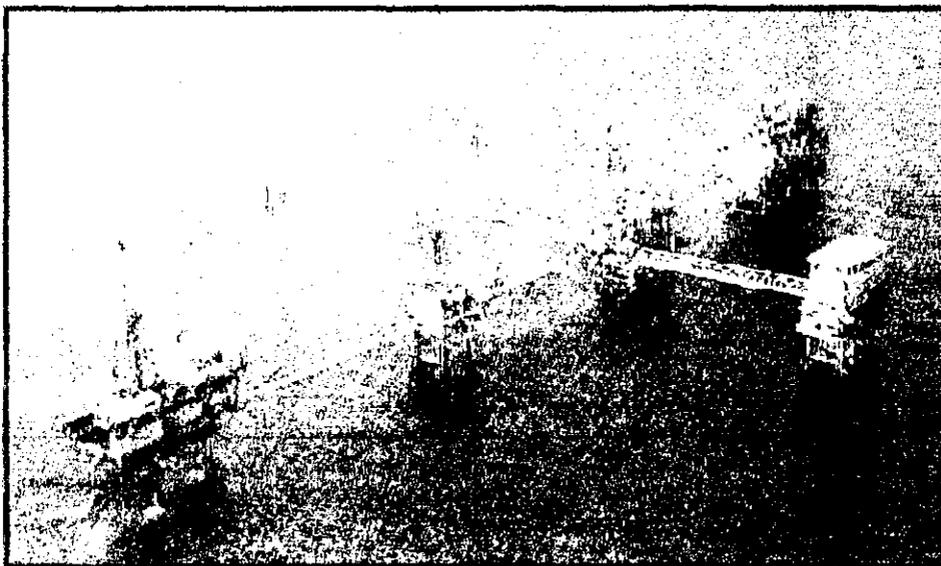


Figura 1.1. Complejo petroquímico

A continuación se describe de manera general, las características de cada una de las plataformas que pueden integrar un complejo:

### *Plataforma de perforación*

Esta plataforma tiene como actividad principal la perforación de los pozos petroleros para extraer el petróleo crudo de los yacimientos marinos. La plataforma se encuentra constituida por una torre de perforación y por varios paquetes que proporcionan todos los servicios requeridos durante la etapa de extracción como por ejemplo agua potable, aire de instrumentos, contenedores de combustible para accionar los motores, tubería especializada, instrumentos para controlar la presión y dirección del flujo, etc.

Una vez que la etapa de perforación a concluido, se retira toda la paquetería de perforación para que la plataforma quede como protección de los pozos que han sido excavados, y a esta se le equipa con un arreglo de válvulas que controlará el comportamiento del flujo de cada pozo productor, a este arreglo se le conoce como árbol de navidad. Cuando el crudo sale por medio de este árbol es enviado hacia las plataformas de producción para su tratamiento.

Las plataformas de perforación son las más numerosas dentro de cualquier campo petrolero.

### *Plataforma de producción*

La función principal que tiene esta plataforma es realizar la separación de la mezcla gas-aceite-agua que proviene de la plataforma de perforación y con ello dar estabilidad al crudo. Una vez que la mezcla ha sido separada, cada uno de sus componentes puede enviarse ya sea a tierra o a otras plataformas para su mejor aprovechamiento.

Las plataformas de producción pueden ser de dos tipos: las de producción temporal y las de producción permanente, la diferencia está en la capacidad de los equipos de proceso empleados. Las de producción temporal se utilizan cuando los volúmenes de extracción disminuyen o son pequeños y las de producción permanente son para grandes flujos de crudo.

### *Plataforma de enlace*

Esta plataforma sirve como medio de unión entre las plataformas de perforación y las de producción, pues a ella llegan las líneas que recolectan la mezcla gas-aceite-agua de la plataforma de perforación y posteriormente la envía hacia la plataforma de producción para su procesamiento.

Ya que la mezcla ha sido separada en gas y/o aceite, este se envía nuevamente hacia la plataforma de enlace para que sea distribuido a tierra por medio de oleoductos submarinos.

A bordo de esta plataforma las líneas cuentan con instalaciones para lanzar y recibir diablos (dispositivos que viajan a través de las tuberías para limpiarlas).

### *Plataforma de compresión*

La función principal de esta plataforma es la de comprimir el gas proveniente de la plataforma de enlace, es decir elevar su presión y con ello hacerlo llegar a tierra.

Otras actividades que realiza esta plataforma son la deshidratación del gas, el endulzamiento y el tratamiento del agua aceitosa.

La finalidad de deshidratar el gas es la de disminuir el contenido de agua, ya que el gas debe estar lo más seco posible antes de alimentarlo a los módulos de compresión, para evitar problemas operativos de las instalaciones.

El endulzamiento se realiza para eliminar el ácido sulfhídrico y bióxido de carbono contenido en el gas y así obtener los requerimientos de gas combustible que se utilizará tanto en la plataforma como en el mismo complejo.

Es necesario llevar a cabo un tratamiento que elimine el aceite y los gases ácidos contenidos en el agua aceitosa que se obtiene como producto del sistema de compresión, para que esta pueda enviarse al mar y con ello evitar la contaminación del agua.

### *Plataforma de rebombeo*

Esta plataforma bombea el aceite proveniente de las plataformas de producción, para hacerlo llegar a las instalaciones de almacenamiento o de exportación, ya que a medida que el flujo avanza, este va perdiendo presión; por lo que este tipo de plataformas se encuentran instaladas en puntos intermedios de los ductos de transportación de crudo y su actividad consiste en restablecer la presión del flujo por medio de turbobombas y con eso mantener las condiciones de velocidad y presión requeridas.

### *Plataforma habitacional*

La función principal de esta plataforma es dar hospedaje, alimentación y recreación al personal que labora dentro del complejo, proporcionando los servicios de helipuerto, sistema de radio-comunicación, cocina, salas de recreación, generadores de energía

eléctrica, potabilizadora de agua, etc. Normalmente esta plataforma tiene una capacidad para alojar 127 personas.

### *Plataformas de diversos servicios*

Este tipo de plataformas proporcionan algunos de los servicios necesarios para las instalaciones básicas y pueden colocarse adicionalmente dentro de un complejo.

Dentro de estas plataformas encontramos las de telecomunicaciones cuya función principal es mantener un enlace de comunicación vía satélite entre todos los complejos y con tierra.

También se encuentran las plataformas de inyección y su función es inyectar ya sea agua tratada o gas al yacimiento petrolífero cuando este ha perdido su presión original debido a la gran extracción de crudo que se le ha hecho; la inyección se realiza para tratar de mantener la presión del yacimiento y con ello obtener un volumen adicional de hidrocarburos; a este método se le conoce como recuperación secundaria.

## 1.2. RECUPERACIÓN DEL CRUDO

Mucho se ha dicho acerca de la explotación de yacimientos petrolíferos y de la producción de crudo que de ellos se obtienen; pero ¿Qué es un yacimiento petrolífero?....

Un yacimiento petrolífero es el estrato de roca permeable que contiene gas y/o aceite (petróleo crudo) en el momento en que se descubre por medio de la perforación y el cual se encuentra intercomunicado hidráulicamente con otros de su misma especie.

Desde que el hombre se ocupó de estudiar los depósitos naturales de hidrocarburos, tuvo la necesidad de clasificarlos para diferenciar unos de otros, y así poder estudiar su comportamiento y comprender su función; algunas de las formas en como los clasificó fue por ejemplo de acuerdo al tipo de roca almacenadora, al tipo de empuje predominante, al tipo de fluidos almacenados, etc.;

La función principal de los yacimientos es permitir su explotación produciendo gas y aceite, debido a la presión propia del yacimiento, la cual en un inicio es suficiente para poder ser extraídos. Sin embargo, con el paso del tiempo se ha comprobado que el yacimiento pierde su presión natural y es necesario utilizar sistemas alternos de recuperación.

### 1.2.1 Recuperación primaria

Existen métodos primarios de explotación más eficientes y pueden aplicarse cuando las condiciones físicas son favorables para el yacimiento y las condiciones económicas lo permiten, algunos de estos métodos son el bombeo neumático y el bombeo electrocentrífugo, estos métodos de operación no difieren en forma material de los métodos de flujo natural.

Para el bombeo neumático se requiere que los pozos estén equipados con una columna de tubería de producción dentro de la tubería de ademe. Se inyecta aire o gas natural a lo largo de la tubería de producción haciendo fluir el crudo del pozo hacia la superficie, es decir, el gas inyectado dentro de la corriente de producción se introduce al aceite, aligerando o aereando la línea de éste y en su esfuerzo para expansionarse, arrastra el aceite hacia la superficie.

En el bombeo electrocentrífugo se emplean bombas que constan de tres partes: un motor eléctrico, una estructura protectora y la unidad de bombeo, conectadas en el orden adecuado. Todas las partes se encuentran protegidas por tuberías especiales de acero. Éstas bombas se encuentran suspendidas dentro de los pozos con tubería de producción a través de la cual el crudo sube a la superficie, debido al funcionamiento del motor de la bomba por medio de corriente eléctrica.

### 1.2.2. Recuperación secundaria

Los métodos de recuperación secundaria proporcionan en forma artificial, la energía necesaria a un yacimiento con el propósito de lograr un volumen adicional de hidrocarburos sobre aquel obtenido durante la explotación primaria.

Existen dos métodos de recuperación secundaria más conocidos, la inyección de agua y la inyección de gas combustible, éstos métodos tienen el mismo principio de operación; el cual consiste en introducir ya sea agua o gas a presión a través de un pozo, originando un movimiento de fluidos en la roca de depósito a otros pozos en los que fluye o se bombea el aceite en la forma usual. A medida que el agua o el gas progresa lentamente a través de la roca de depósito, recoge delante de su frente de avance, un banco de aceite que se fuerza eventualmente en la roca de depósito dentro de los pozos productores. Si el gas o agua inyectada avanza a través de la roca sus poros quedan llenos, desplazando gran parte del aceite retenido por capilaridad, que previamente ocupaba una parte del espacio poroso; ya que el crudo ocupa los intersticios entre los gránulos, fisuras y cavidades de las rocas que constituyen las formaciones almacenadoras de hidrocarburos. La gran mayoría de acumulaciones de crudo existen en rocas sedimentarias, las cuales son excelentes colectoras de hidrocarburos.

El tipo de recuperación que se lleve a cabo, depende de las características del yacimiento, pero es necesario tomar en cuenta que ya sea que se inyecte agua o gas, se debe dar un tratamiento adecuado al compuesto que se elija, para alcanzar una mayor eficiencia durante el proceso de recuperación.

### 1.3. TRATAMIENTO DEL AGUA

Como se menciona con anterioridad, es muy importante que durante la recuperación secundaria del crudo, el compuesto que se vaya a emplear para la inyección a pozos, se encuentre previamente tratado y así pueda cumplir con las características requeridas.

En el caso de que se utilice gas combustible para la inyección, a éste se le da el tratamiento adecuado en la plataforma de compresión, que consiste en su deshidratación y endulzamiento. Este tipo de gas se emplea cuando el crudo que se desea recuperar es pesado.

Cuando la recuperación del crudo es a través de la inyección de agua, ésta debe tener ciertas características de pureza y calidad que proporcionen la eficiencia requerida en el proceso, pues es obvio que la fuente de suministro sería el agua de mar. Por tanto es importantísimo que el agua reciba un tratamiento previo antes de ser inyectada al yacimiento; por lo general este tratamiento se divide en dos: físico y químico.

Algunos de los principales objetivos que tiene el tratamiento del agua para inyección son:

- ✧ Mantener estables los perfiles de inyección.
- ✧ Incrementar la eficiencia de inyectabilidad.
- ✧ Mantener la permeabilidad relativa aceite – agua.
- ✧ Reducir daños a instalaciones superficiales y subsuperficiales.
- ✧ Reducir los requerimientos de energía para la inyección.

#### 1.3.1. Tratamiento físico

El tratamiento físico básicamente está enfocado a la eliminación de los sólidos suspendidos, crecimiento orgánico y gases disueltos. Para los primeros generalmente se emplean tanques sedimentadores seguido por el proceso de filtración. Para los gases disueltos, normalmente oxígeno, lo más usual es la deaeración seguida por la eliminación química del oxígeno residual.

### 1.3.2. Tratamiento químico

El tratamiento químico del agua de mar para propósitos de inyección, tiene como objetivo principal eliminar las impurezas indeseables que no son posibles remover mediante el tratamiento físico, es decir está encaminado a la eliminación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas, a mantener la estabilidad química del agua en condiciones favorables para evitar los fenómenos de corrosión e incrustación. Básicamente, el tratamiento consiste en adicionar al agua de mar, los productos químicos que se requieren para alcanzar las especificaciones de calidad y pureza del agua.

La importancia de tratar el agua de mar antes de ser inyectada a los pozos productores se debe a la necesidad de que ésta tenga un pH neutro y lo menos posible de impurezas, pues por un lado estas impurezas bloquean o tapan los poros de las rocas del yacimiento y por otro la basicidad del agua genera la formación de precipitaciones de carbonato en los equipos, teniendo con esto problemas de incrustación y corrosión.

A grandes rasgos, se puede decir que el tratamiento del agua de mar para propósitos de inyección consiste en lo siguiente (ver figura 1.2).

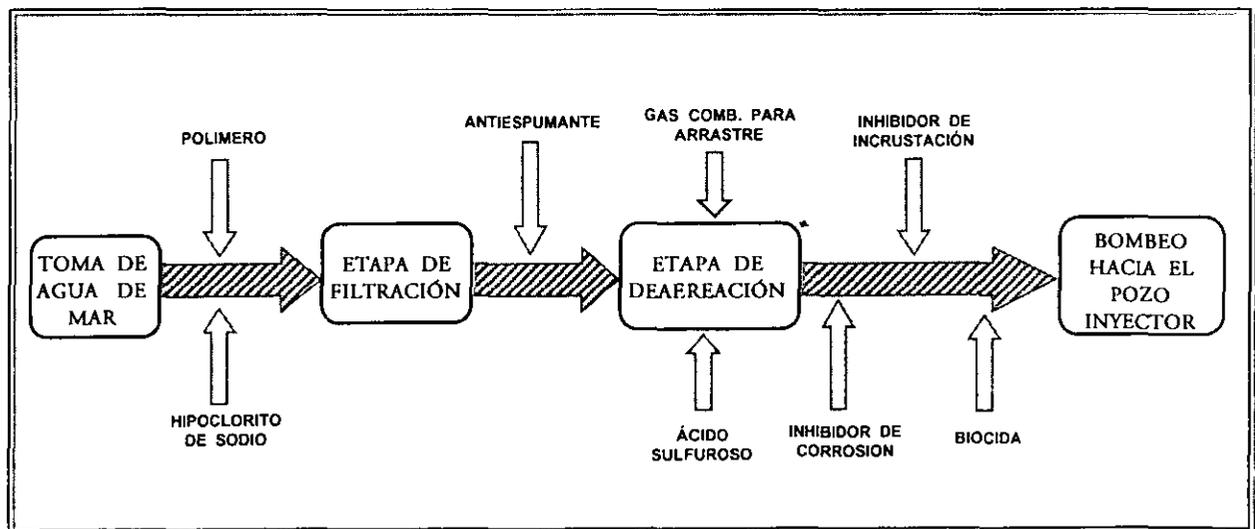


Figura 1.2.

## 1.4. PROYECTO

Un *proyecto* es aquel estudio que proporciona una serie de antecedentes y elementos de juicio, de tal modo que permitan decidir acerca de la conveniencia de asignar ciertos recursos a una actividad determinada, y con ello alcanzar los objetivos establecidos a través del surgimiento de una necesidad.

### 1.4.1. Ingeniería de proyectos.

La ingeniería probablemente es una de las profesiones más antiguas y su definición ha venido modificándose a medida que las necesidades del mundo han cambiado, sin embargo una definición que se adopta en la actualidad es: “La ingeniería es una actividad profesional que emplea un método racional para transformar, de una manera económica y óptima, los recursos naturales en formas útiles para el uso del hombre”.

Cuando se refiere a la ingeniería se asocia esta idea con algunos de los campos más comunes de esta profesión, como por ejemplo: Ingeniería Química, Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Petrolera, etc. Sin embargo como la ingeniería no se puede visualizar como tal, sino que más bien lo que se ve son los resultados concretos de esta actividad ya sea una casa, una línea de transmisión, un recipiente, etc.; ha sido preferible dividirla en algunas de sus funciones principales como son: Investigación, Proyectos, Construcción, Producción, Operación, Administración, etc.

Casi siempre las áreas de servicios de ingeniería de una empresa están formadas por grupos de especialistas que desarrollan actividades en forma independiente, esto requiere de un sistema documental en cada proceso y de la administración en cada especialidad para la elaboración de proyectos.

Tomando el concepto de proyecto diríamos que la “*Ingeniería de Proyectos*” es un conjunto de varias especialidades o disciplinas de la ingeniería para desarrollar los proyectos de manera integral; lo cual es usual en empresas en las que el servicio que se ofrece está sobre la base del conocimiento técnico especializado y una gran experiencia profesional para asegurar la calidad de los proyectos.

Las empresas de proyectos y servicios de ingeniería, proporcionan servicios en diversas áreas de especialización tanto al sector público como al privado, atendiendo los tres niveles de la industria nacional que comprenden: las extractivas, las de transformación y las de servicio, en las ramas más comunes como son: Manufactura, Petroquímica básica, Plataformas marinas, Energía eléctrica, y Otras.

### 1.4.2. Fases de un proyecto.

Para desarrollar un proyecto, es necesario establecer un planteamiento inicial que proponga exactamente cuales son los objetivos, el producto final deseado, los recursos disponibles, etc. Una vez establecidos estos parámetros, se pueden identificar las siguientes fases de ejecución de un proyecto (ver figura 1.3):

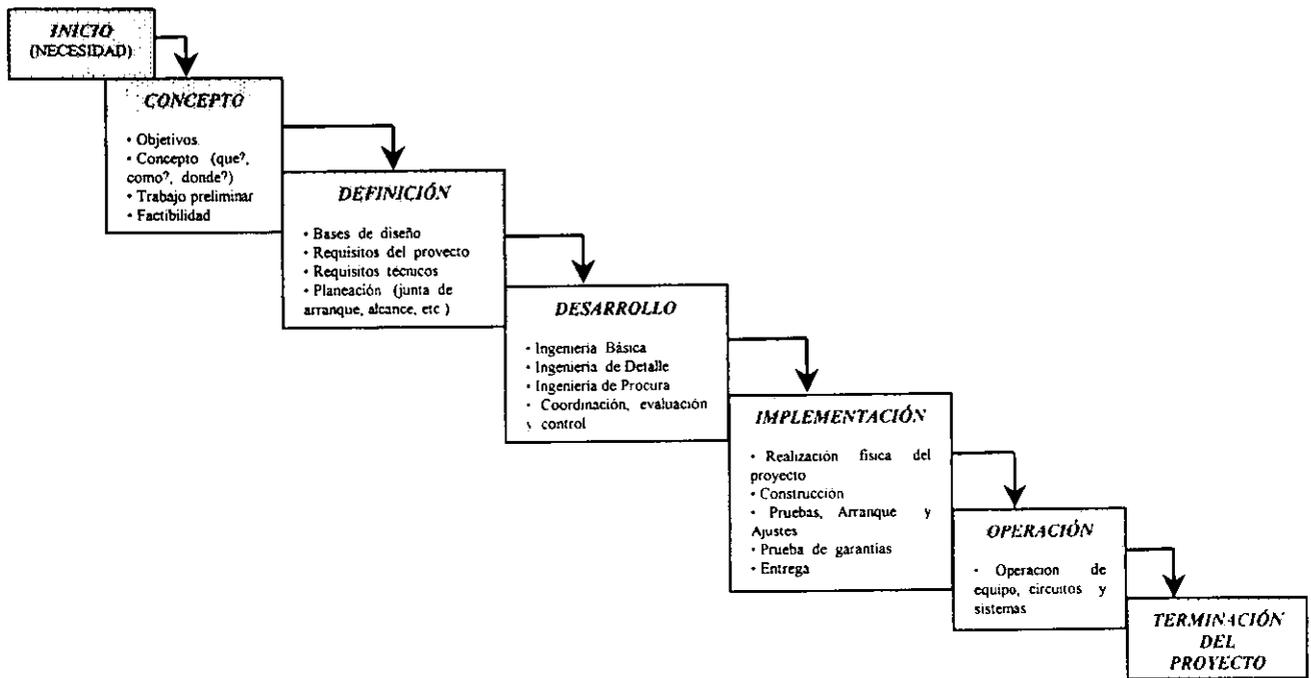


Figura 1.3.

Estas etapas se llevan a cabo normalmente por un grupo de personas de diversas especialidades, en las que el conocimiento de las bases de la ciencia, la habilidad matemática y la experimentación se conjugan para que trabajen en conjunto a fin de alcanzar los objetivos propuestos.

### 1.5. ARRANQUE

El arranque de una nueva instalación no sólo es la puesta en marcha de los equipos y dispositivos que la conforman, sino que representa la culminación de años de investigación, evaluación, diseño, construcción, etc. Si estas fases han sido ejecutadas cuidadosamente, el arranque tendrá una gran oportunidad de desarrollarse sin contratiempos. Aunque cabe aclarar que también es necesario disponer de ciertos factores que se pueden considerar como claves críticas para alcanzar una operación adecuada.

Algunos de estos factores principalmente son:

- ✧ Personal capacitado y experimentado.
- ✧ Organización completa y eficiente.
- ✧ Planeación y estimación cuidadosa.
- ✧ Comunicación total de observaciones y estudios entre las especialidades.
- ✧ Documento detallado sobre los procedimientos de operación.

El arranque comienza una vez que se han realizado todos los trabajos preliminares referentes a pruebas y ajustes del equipo o planta, elaborados después de la etapa de construcción.

### 1.5.1. Grupo de arranque

Desde un inicio, la dirección del arranque debe asignarse a un Ingeniero experimentado (Ingeniero en jefe de operación), él cual se deberá integrar a un equipo competente para llevar a cabo el programa de arranque; a este equipo se le conoce como "*grupo de arranque*" y por lo general esta integrado por los siguientes elementos esenciales:

- ✧ Grupo de operación.
- ✧ Grupo de administración.
- ✧ Grupo de mantenimiento.
- ✧ Grupo de laboratorio.

*Grupo de operación:* Este grupo esta conformado por personal especializado principalmente Ingenieros químicos, mecánicos e instrumentistas altamente calificados y experimentados, los cuales están familiarizados con las pruebas y la operación de equipos y/o instalaciones. Es necesario que este grupo conozca el proceso de la planta particular que va arrancarse.

Dentro de este grupo se encuentra el Ingeniero en jefe de operación, él cual debe tener la habilidad para encarar tanto la planeación global para el arranque como la determinación de las decisiones del día. Es por eso que la selección del hombre adecuado como jefe de operación constituye el 90 % de la solución con éxito de un buen arranque. Este grupo tendrá también la responsabilidad de encontrar los problemas y modificaciones a la ingeniería de proceso que deban hacerse en la planta.

*Grupo de administración:* Este grupo esta dirigido principalmente por un gerente de planta o gerente de producción, él cual deberá aceptar la dirección técnica del ingeniero en jefe de operación, manteniendo simultáneamente una línea directa de control sobre el personal de operación no técnico. Este grupo se encarga de la

supervisión y manejo del personal de operación para poder tener una administración regular de la planta durante el período de arranque.

*Grupo de mantenimiento:* Este grupo está integrado generalmente por ingenieros mecánicos cuya habilidad y experiencia sea superior a la promedio, debido a que frecuentemente trabajan en campo.

Es preferible que el personal de este grupo sea seleccionado seis meses antes de la fecha de arranque para que pueda participar en todos los programas preliminares de mantenimiento, así como en el entrenamiento del personal.

El papel del grupo de mantenimiento durante el arranque es extremadamente importante, pues la rapidez con que se puedan efectuar las reparaciones y modificaciones necesarias durante la operación depende de ellos.

*Grupo de laboratorio:* Se encuentra conformado por químicos analistas encargados de realizar las pruebas analíticas que determinan la calidad y características del producto; también realizan los análisis de las corrientes de material que son necesarios para permitir una operación uniforme de la planta y recomiendan además los cambios en el proceso u operación que mejorarán la calidad del producto.

Es importante que los métodos analíticos que emplea este grupo, hayan sido elaborados como parte de la etapa de investigación del proceso.

De manera general se puede decir que la selección adecuada de todo el personal puede reducir el tiempo requerido de entrenamiento, el tiempo de arranque y al mismo tiempo se cometerán menos errores fundamentales.

### 1.5.2. Programa de arranque

Desde el principio, antes de que la etapa de construcción finalice, el grupo de operación debe elaborar un programa detallado del arranque, el cual bosqueje las actividades diarias a partir del día de terminación de la construcción hasta la primera semana de operación de la planta.

Este programa es de gran utilidad para los diversos grupos que participan en la puesta en operación de la instalación, el programa de arranque es similar a un diagrama de Gantt donde se mencionan todas las actividades a realizar con respecto al tiempo y el cual se ayuda con las pruebas rutinarias, la inspección, los ajustes, las variables, etc., que se involucran tanto en el proceso como en la planta.

También se utilizan hojas de registro agrupadas por operaciones unitarias de las diferentes etapas del proceso las cuales están asociadas con datos de temperaturas,

presiones, velocidades de flujo, niveles, calibración de instrumentos, etc., con la finalidad de que los operadores comparen posteriormente los datos que obtengan durante la operación normal con los del diseño.

### 1.5.3. Presupuesto para el arranque

Los costos para el arranque son aquellos que se encuentran incurridos entre la etapa final de construcción y la operación normal de la instalación.

Normalmente, los principales elementos que se consideran al estimar los costos de operación de cualquier equipo y/o instalación son:

- ✦ Costos de los insumos.
- ✦ Costos de la mano de obra requerida para la operación.
- ✦ Costos de mantenimiento.
- ✦ Costos de entrenamiento del personal.

Comúnmente para la actividad de arranque dentro del rango de magnitud, se estima un porcentaje sobre la inversión capital de la planta, el cual varía del 5 al 15 %.

Cabe aclarar de manera particular que para el arranque de una instalación marina, el mayor gasto es el de la mano de obra requerida para la operación, lo cual engloba lo siguiente:

- Personal capacitado requerido costa fuera.
- Alojamiento y comida costa fuera.
- Transportación.
- Equipo y herramienta para operación y mantenimiento costa fuera.

Con el programa de arranque se pueden calcular con buena precisión los costos para los factores de un arranque normal. Por lo general el tiempo requerido para poner en marcha un paquete como el del ácido sulfuroso es de un mes, tomando en cuenta por supuesto, el tiempo de inspección, pruebas, corridas, etc.

#### 1.5.4. Manual de operación

Un Manual de operación es un documento que contempla toda la información necesaria de los lineamientos que se deben seguir para la operación de una instalación.

Este documento debe estar comprensible, atractivo, con un buen índice, actualizado, etc., es decir lo más completo posible, pues una alta calidad en el manual puede mejorar la seguridad y operabilidad de la instalación.

Para poder elaborar un buen manual de operación que cumpla con los requerimientos deseados se pueden considerar los siguientes principios:

##### *Información*

Para que los operadores puedan operar una instalación, necesitan información de referencia tal como las condiciones del proceso, las hojas de datos de los elementos que conforman la instalación, la química relevante del proceso, los procedimientos de operación, etc. Por supuesto que esta información no debe estar esparcida por todo el manual, sino que se debe colocar en la sección que le corresponda.

También se deben proporcionar guías que muestren como se debe operar cada sección de la instalación y las acciones que se deben tomar durante la operación normal y anormal.

##### *Desarrollo por secciones*

El manual puede estar formado por diversas secciones que estén ligadas unas con otras dentro de una estructura predefinida. La ventaja que se tiene con este arreglo no solo es una mejor comprensión, sino que también simplifica el trabajo ya que se puede identificar rápidamente la sección donde se encuentra la información requerida.

##### *Ayuda con esquemas*

Uno de los problemas que presentan algunos manuales de operación es que no son muy atractivos a la vista debido a que están conformados por paginas y paginas de tedioso texto que es difícil seguir durante la operación en campo, por lo que se recomienda que se empleen gráficos, diagramas y esquemas que simplifiquen de manera ilustrativa la información que se plasma en tantas palabras.

Se debe procurar que el manual de operación sea consistente y entendible para un amplio rango de usuarios como operadores, supervisores, ingenieros, gerentes, personal de mantenimiento, etc., y con ello tratar de satisfacer sus necesidades tan diferentes.

Un manual de operación por lo general contiene la siguiente información:

- Introducción
- Generalidades
- Descripción General de la Instalación.
- Descripción General del Proceso.
- Descripción del Flujo.
- Descripción de Equipos Especiales.
- Filosofía de Control.
- Procedimientos preliminares.
- Procedimientos de Arranque.
- Procedimientos de Paro.
- Procedimientos de Paro de Emergencia.
- Problemas, Causas y Correcciones.
- Control de calidad.
- Consideraciones de Seguridad.
- Consideraciones Ambientales.
- Información de Referencia.

Enseguida se describe más detalladamente cada una de las secciones que constituyen un manual de operación:

### *Introducción*

Describe el objetivo de la instalación, su capacidad, su localización, compañía licenciadora o firma de ingeniería, contrato, vida del proyecto, etc.

### *Generalidades*

Menciona en términos generales lo que en sí representa y contiene el manual de operación como herramienta primordial de trabajo y guía al personal operativo, haciendo énfasis respecto a lo necesario para un entendimiento rápido a las cuestiones del proceso y servicios auxiliares, así como en los procedimientos para la preparación, prueba y arranque; sin omitir las consideraciones de seguridad y protección al medio ambiente.

### *Descripción general de la instalación*

Describe el tipo de instalación, las partes que la integran, los equipos principales por secciones, conexión con otras instalaciones, etc.

### *Descripción general del proceso*

En este punto se realiza una síntesis del proceso y se menciona además en forma genérica la química del proceso; es decir la secuencia que sigue el proceso tomando en consideración la influencia de las variables del proceso, las características de los productos, el balance de materia y de manera muy general la operación de la instalación, todo esto se hace tomando como referencia el diagrama de flujo de proceso.

### *Descripción del flujo*

Ésta se refiere a la descripción secuencial y detallada de las operaciones que se van efectuando en cada uno de los sistemas y equipos, indicando todas las corrientes que participan dentro del proceso, tanto las del mismo proceso como las de los servicios auxiliares involucrados, mencionando también las condiciones de operación, la forma de control, el número y código de las tuberías, las características especiales de los equipos y/o sistemas y los criterios base de tales características, aquí se toma como referencia los diagramas de tubería e instrumentación.

### *Descripción de equipos especiales*

En esta sección se describen las funciones en las que hay que poner mayor interés antes de poner en operación un equipo o instalación, mencionando únicamente para una mayor comprensión, el principio teórico de funcionamiento de aquellos equipos que lo ameriten como por ejemplo equipo mecánico, reactores, instrumentación, etc.

### *Filosofía de control*

Este punto menciona la forma en que se controlará el equipo y/o instalación para mantener las principales variables que gobiernan el proceso, dentro de los rangos de operación establecidos, es decir se describe la arquitectura de control de la instalación, un ejemplo sería que la instalación operará mediante un sistema totalmente automático, tomando en consideración aquellas funciones que permiten tanto la estabilidad del proceso como la generación de los productos.

### *Procedimientos preliminares*

Este punto describe el trabajo requerido para preparar la planta antes de su puesta en operación una vez que se encuentra completamente terminada e instalada y que al mismo tiempo haya cumplido con todas las especificaciones del proyecto; además se presentan también los lineamientos generales que nos conducen a la inspección general de la instalación, lavado de equipos y líneas, pruebas hidrostáticas, neumáticas y de hermeticidad, preparación del equipo eléctrico, comprobación de circuitos de control e instrumentos, corrida de bombas y compresores, etc.

### *Procedimientos de arranque*

Describe paso a paso y de manera detallada la secuencia de arranque que pondrá en marcha una instalación, mencionando las actividades especiales que debe tomar en cuenta el operador para alcanzar una operación eficiente y sin contratiempos.

### *Procedimientos de paro*

Esta sección describe las causas que llevan a que la instalación genere un paro ya sea parcial o total, desencadenando principalmente diversas acciones de respuesta en los dispositivos de seguridad.

### *Procedimientos de paro de emergencia*

En esta sección se describen las causas más críticas que originan que la instalación entre en un paro repentino debido a que no se le dio solución rápida a algún tipo de desajuste ya sea del equipo o del proceso, algunas de estas causas pueden ser: la falla de aire de instrumentos, falla de energía eléctrica, falla en el sistema de seguridad, etc.

### *Problemas, causas y correcciones*

Se describen los problemas que pudieran presentarse durante el arranque y/u operación normal de la instalación, las posibles causas, así como las acciones que el operador debe efectuar para la corrección de dichos problemas.

### *Control de calidad*

Menciona la infraestructura disponible (laboratorios, equipos e instrumentos) e incluye los procedimientos para determinar las especificaciones de los productos obtenidos con la finalidad de analizar la operación de la instalación y de detectar lo más pronto posible las desviaciones de los parámetros establecidos y con ello tomar las acciones correctivas necesarias.

### *Consideraciones de seguridad*

En este punto se mencionan los sistemas y normas de seguridad con que fue diseñada la instalación y que al mismo tiempo conducen a una operación segura, disminuyendo con esto los riesgos tanto en el personal como en la propia instalación. Se mencionan también las precauciones que debe tener el operador en el manejo de gases y sustancias químicas, apertura de líneas y equipos, detección de fugas, etc.

### *Consideraciones ambientales*

En esta sección se describen las precauciones y estrategias que se deben tomar dentro de la instalación para que cumpla con la normatividad ambiental y con ello alcanzar las concentraciones permisibles de gases o residuos que vayan a ser liberados hacia la atmósfera minimizando la contaminación del medio ambiente y los efectos dañinos sobre el hombre.

### *Información de referencia*

En este punto debe anexarse toda aquella información de ingeniería que fue tomada como referencia para la elaboración del manual, tal como: diagramas, planos, hojas de datos de equipos e instrumentos, isométricos, etc.

---



**CAPITULO 2**  
**DESCRIPCIÓN DE**  
**LA INSTALACIÓN**

Una de las instalaciones más relevantes dentro del área de explotación de los yacimientos petrolíferos de la Sonda de Campeche es el complejo Abkatún de inyección de agua, constituido de la siguiente manera (ver figura 2.1):

**Plataforma de tratamiento y bombeo (P.T.B)**

**Plataforma habitacional (P.H)**

**Plataformas satélites de inyección que son:**

Plataforma de inyección ABK - N

Plataforma de inyección ABK - P

Plataforma de inyección ABK - Q

Plataforma de inyección ABK - R

Plataforma de inyección ABK - S

**Plataforma de control y servicios (P.C.S)**

La función del complejo de inyección de agua es captar, tratar, distribuir e inyectar agua de mar a pozos inyectoros del campo de Abkatún como método de recuperación secundaria dentro de lo que Pemex Exploración y Producción (PEP) denominó "Programa de Mantenimiento de Presión en el Campo Abkatún".

La capacidad de diseño del complejo es de 1 MMBPD max.

La capacidad normal es de 0.75 MBPD.

## 2.1. PLATAFORMA DE TRATAMIENTO Y BOMBEO (P.T.B)

La plataforma de tratamiento y bombeo está constituida por subestructura y superestructura y los siguientes equipos instalados en secciones modulares.

- ◆ *Sección de captación:* Conformada por 8 motobombas cuya función es captar el agua de mar a un nivel medio de 20 metros de profundidad.
- ◆ *Sección de filtración:* Esta sección cuenta con 10 filtros horizontales tipo multimedia (antracita, granate y arena). Su función es retener el 98 % de las partículas sólidas de 2 micras y mayores, contenidas en el agua de mar proveniente de la sección de captación. Como ayuda al sistema de filtración se adiciona NaOCl (hipoclorito de sodio) para completar la oxidación de la materia orgánica y se dosifica también polímero que funciona como coagulante para aglomerar las partículas finas sólidas suspendidas en el agua, y con ello aumentar la eficiencia del filtrado.
- ◆ *Sección de deaeración:* Conformada por 4 deaeradores y su función es disminuir y/o eliminar la concentración de oxígeno disuelto en el agua de 6.2 -7 ppm a 50 ppb del agua de mar proveniente de la sección de filtración.

Para mantener eficiente la operación de deaeración se adiciona un antiespumante. Así mismo aprovechando el tiempo de residencia del agua dentro de la torre deaeradora se efectúa la adición del ácido sulfuroso cuyo fin principal es abatir el pH del agua de mar de 8.2 a 6.8 - 7.2.

El ácido aplicado reacciona con el oxígeno residual dando lugar a la formación de  $H_2SO_4$ , así como el cloro residual de la sección de filtración forma HCl. Sin embargo no hay deterioros en su efectividad por disminuir el pH ya que la disociación de ambos subproductos hace la misma función.

♦ *Sección de bombeo:* Está conformada por 5 motobombas; su función es proporcionar el NPSH requerido por el sistema de bombeo de alta presión. En esta sección, en la descarga de la bomba, se completa el tratamiento químico del agua por medio de la inyección de:

- Inhibidor de corrosión
- Inhibidor de incrustación
- Biocida

Distribución: El agua tratada física y químicamente logra las siguientes especificaciones definidas por *NORMAS*, para ser aplicadas en la recuperación secundaria y se muestran en la siguiente tabla:

<i>PARAMETRO</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>	
	Unidades	Valores
Sólidos suspendidos	ppm	2.4 max.
Bacterias Sulfato reductoras	Col/ml	0.10
Bacterias totales	Col/ml	100 – 1000
Oxígeno disuelto	ppm	0
Pendiente de velocidad de filtración (0.45 m).	m	0.49 max.
pH		6.8-7.2
Velocidad de corrosión	mpy	5 max.
Indice de estabilidad	Negativo	No incrustante.

Tabla 2.1.

A continuación se presenta el proceso típico de tratamiento para el agua de mar, en la plataforma (ver la figura 2.2).

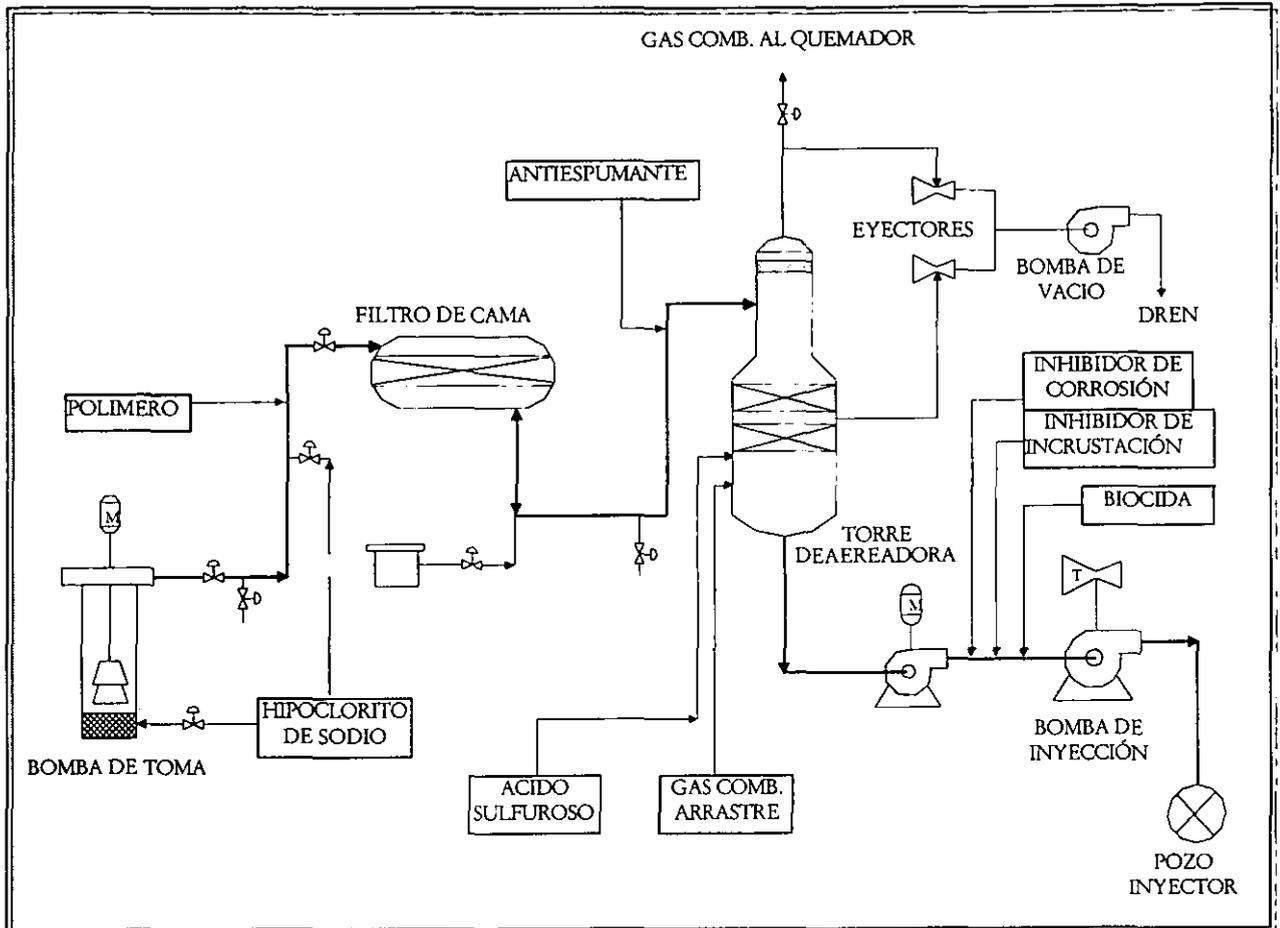


Figura 2.2.

## 2.2. PLATAFORMA HABITACIONAL (P.H)

La plataforma habitacional está conformada por los siguientes elementos (ver figura 2.3):

- ◆ Subestructura
- ◆ Superestructura
- ◆ Módulo habitacional
- ◆ Cancha deportiva
- ◆ Helipuerto

Su función es dar alojamiento, alimentación, servicio médico, higiene personal, comunicación, transporte, oficinas, recreación, etc.; al personal que labora y da mantenimiento a las plataformas de control y servicios (P.C.S) y de tratamiento y bombeo (P.T.B).

La plataforma habitacional tiene una capacidad de alojamiento para 127 personas.

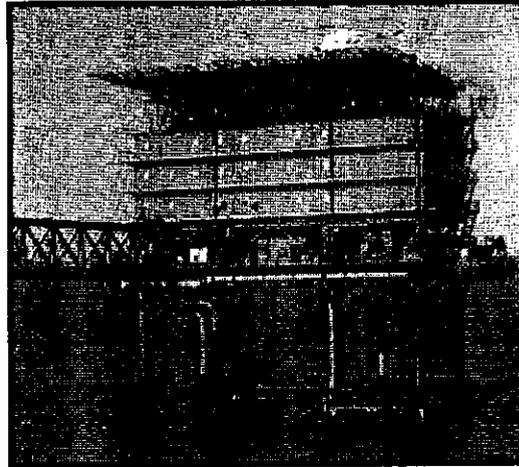


Figura 2.3.

### 2.3. PLATAFORMAS SATELITES DE INYECCIÓN

Las plataformas de inyección como su nombre lo dice; tienen la función de inyectar el agua de mar ya tratada al yacimiento para llevar a cabo la recuperación secundaria.

La manera en como éstas funcionan es la siguiente:

El agua es distribuida a través de ductos submarinos hacia las plataformas satélites de inyección de alta presión, primero se envía a ABK-R por medio del ducto de 30"  $\phi$  y 6.8 Km de longitud un flujo de 0.75 MMBPD. De esta plataforma se envían 0.21 MMBPD hacia la plataforma satélite de inyección ABK-N por medio de un ducto submarino de 18"  $\phi$  y 1.9 Km de longitud.

De Abkatún R se distribuyen 0.38 MMBPD hacia las demás plataformas (ABK-Q, ABK-S, ABK-P).

De Abkatún R hacia ABK-Q, 0.13 MMBPD a través de un ducto de 24"  $\phi$  y 1.7 Km. de longitud.

De ABK-R hacía ABK-S 0.12 MMBPD a través de un ducto de 24"  $\phi$  y 2.25 Km de longitud y finalmente de ABK-R hacía ABK-P 0.13 MMBPD a través de un ducto de 18"  $\phi$  y 3.4 Km de longitud.

#### 2.4. PLATAFORMA DE CONTROL Y SERVICIOS (P.C.S)

La plataforma de control y servicios (P.C.S) está constituida por subestructura y superestructura y por diversas secciones modulares que suministran todos los servicios auxiliares necesarios para mantener la operación tanto del propio equipo como de sus instalaciones, así como de las otras plataformas del sistema de tratamiento y bombeo de inyección de agua.

❖ Algunos de los servicios auxiliares de esta plataforma son: (ver figura 2.4).

- ◆ Recepción de gas amargo y endulzamiento.
- ◆ Sistema de gas combustible.
- ◆ Sistema de agua de servicios.
- ◆ Sistema de drenajes aceitosos.
- ◆ Sistema de agua de calentamiento.
- ◆ Sistema de combustible diesel.
- ◆ Sistema de desfogue.
- ◆ Sistema de tratamiento de aguas de desecho.
- ◆ Sistemas de drenajes pluviales.
- ◆ Sistemas de seguridad.
- ◆ Centrales y operadores hidráulicos.
- ◆ Generación de agua potable.
- ◆ Generación y distribución de aire de planta e instrumentos.
- ◆ Generación y distribución de energía eléctrica.
- ◆ Paquete de generación de ácido sulfuroso.

La plataforma centraliza también el monitoreo y control tanto del complejo, como el de cinco plataformas satélites de inyección de agua de alta presión.

Esta plataforma es de mayor importancia, debido a que en ella se encuentra el paquete en cuestión.

## COMPLEJO INTEGRAL DE INYECCIÓN DE AGUA CAMPO ABKATUN (SONDA DE CAMPECHE) DE PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN

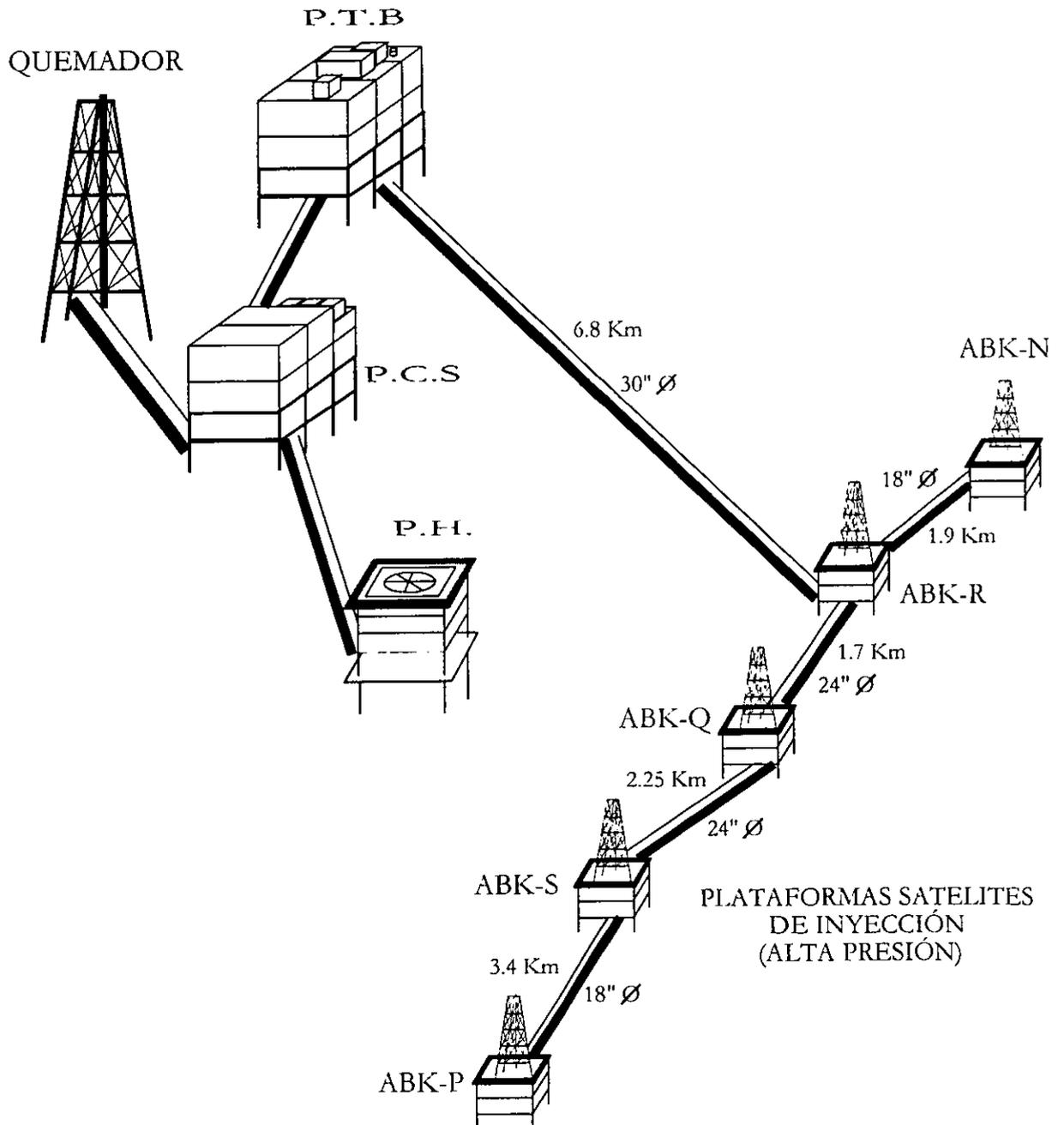


FIGURA 2.1.

# PLATAFORMA DE CONTROL Y SERVICIOS (P.C.S.)

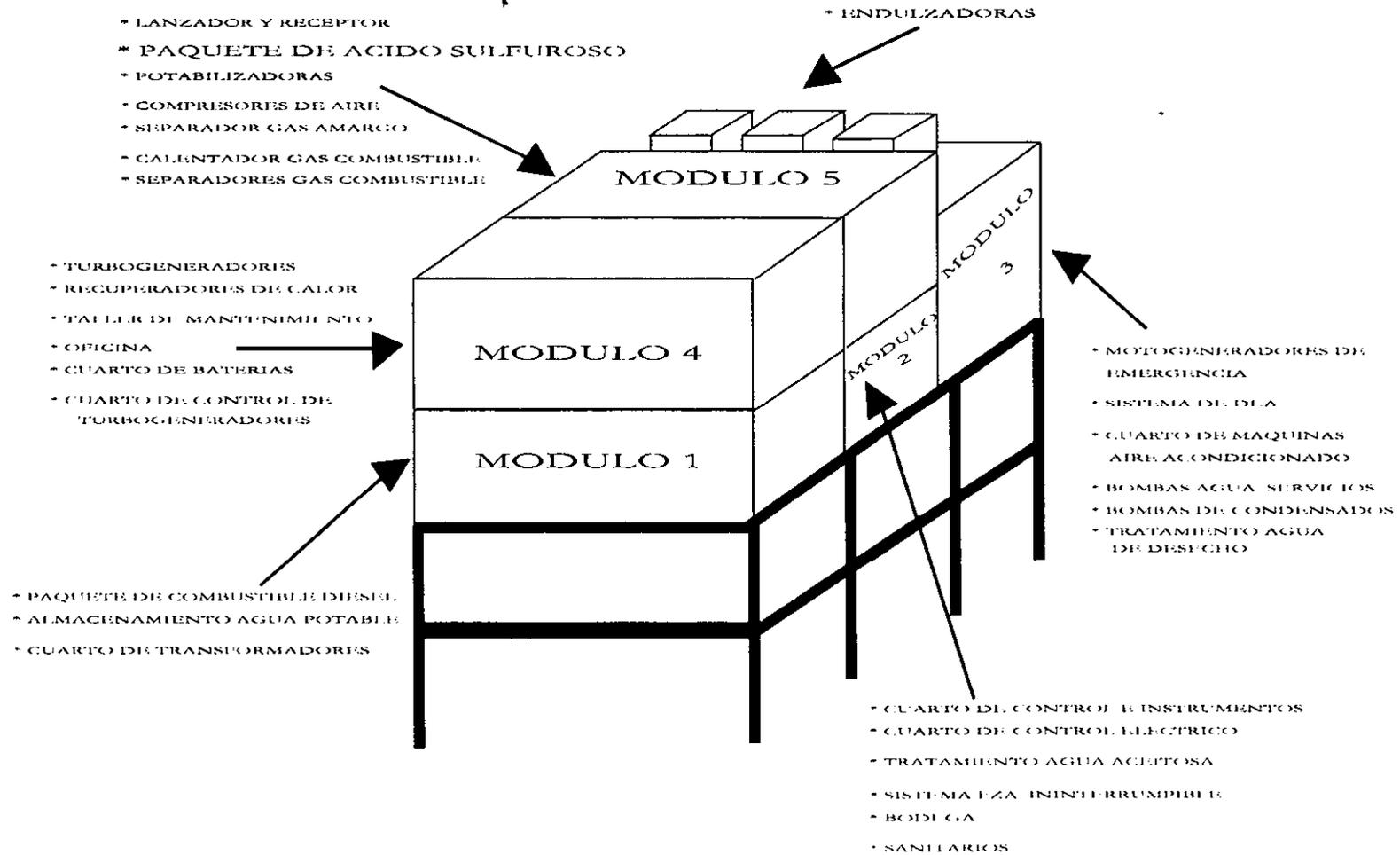
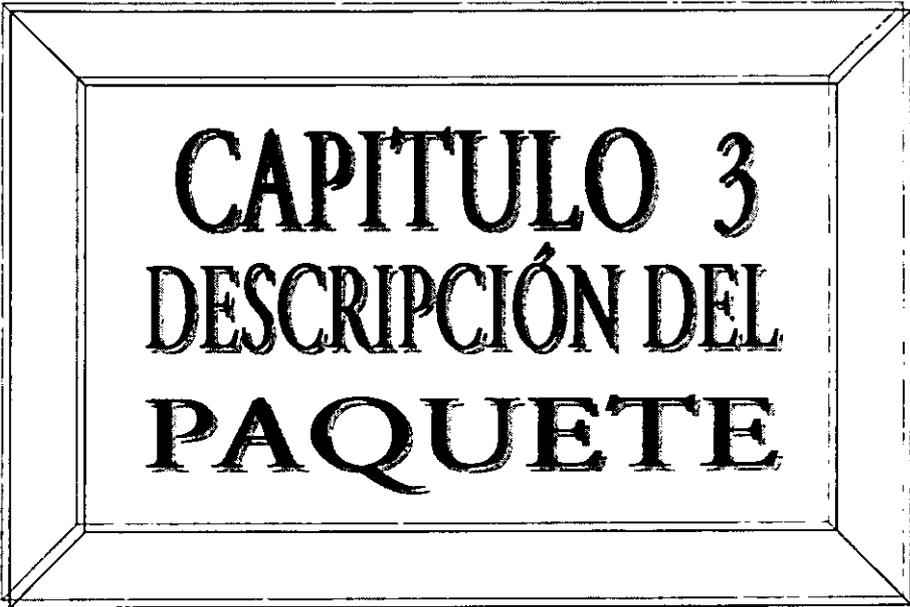


FIGURA 2.4.

---

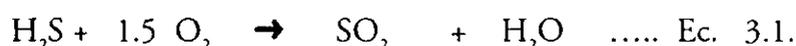


**CAPITULO 3**  
**DESCRIPCIÓN DEL**  
**PAQUETE**

### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO (Ver diagrama DFP 3.1).

El gas ácido suministrado al paquete de generación de ácido sulfuroso se recibe en el tanque separador FA-01, de donde los líquidos separados se envían a control de nivel hacia el sistema de drenaje, mientras que el gas es dirigido por medio de control de flujo hacia el quemador de gas ácido BA-01, el cual se encuentra montado sobre la cámara de oxidación del recipiente FA-02. En esta última se lleva a cabo la combustión del gas ácido en presencia de aire en exceso proporcionado estequiométricamente por el soplador GB-01 / R.

La combustión del ácido sulfhídrico (gas ácido) en la cámara de oxidación FA-02 da lugar a la formación de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de acuerdo a la siguiente reacción:



Como esta reacción se desarrolla a una temperatura muy elevada, en la que no es posible llevar a cabo la absorción del SO<sub>2</sub> en agua para formar el ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>); la corriente gaseosa de la cámara de oxidación FA-02 es enviada a través del ducto de transición FA-04 para su enfriamiento por contacto directo, hacia la cámara de apagado FA-03.

En esta última, la mezcla gaseosa asciende y es puesta en contracorriente con la solución de ácido sulfuroso proveniente de la sección de generación. Una vez enfriados, los gases de combustión abandonan la cámara de apagado FA-03 por la parte superior y son dirigidos hacia la torre absorbadora DA-01, mientras que la solución de apagado del fondo de la FA-03, es retornada por gravedad a la misma torre absorbadora.

Los gases ya enfriados entran por la parte inferior de la torre absorbadora DA-01, para ponerse en contracorriente con agua de mar filtrada proveniente de la plataforma de tratamiento y bombeo (P.T.B), que se introduce a control de flujo por la parte superior de dicha torre.

El contacto que se da entre ambas corrientes da lugar a la formación del ácido sulfuroso por absorción, de acuerdo a la siguiente reacción:



Del fondo de la torre absorbadora DA-01, la solución de ácido sulfuroso es succionada por la bomba GA-01 /R, la cual envía una parte a control de nivel hacia el tanque de almacenamiento FB-01, mientras que otra porción es dirigida constantemente hacia la cámara de apagado FA-03, para el enfriamiento de los gases de combustión.

La solución de ácido sulfuroso de apagado normalmente es suministrada a través del "By-Pass" del enfriador EA-01, pero sí por alguna razón la temperatura de la solución en el fondo de la torre absorbidora se incrementa, la solución es enfriada en el EA-01, antes de alimentarse a la cámara FA-03.

La solución de ácido sulfuroso almacenada en el tanque FB-01 es distribuida a las torres de deaeración DA-02 A/D mediante las bombas GA-02 /R.

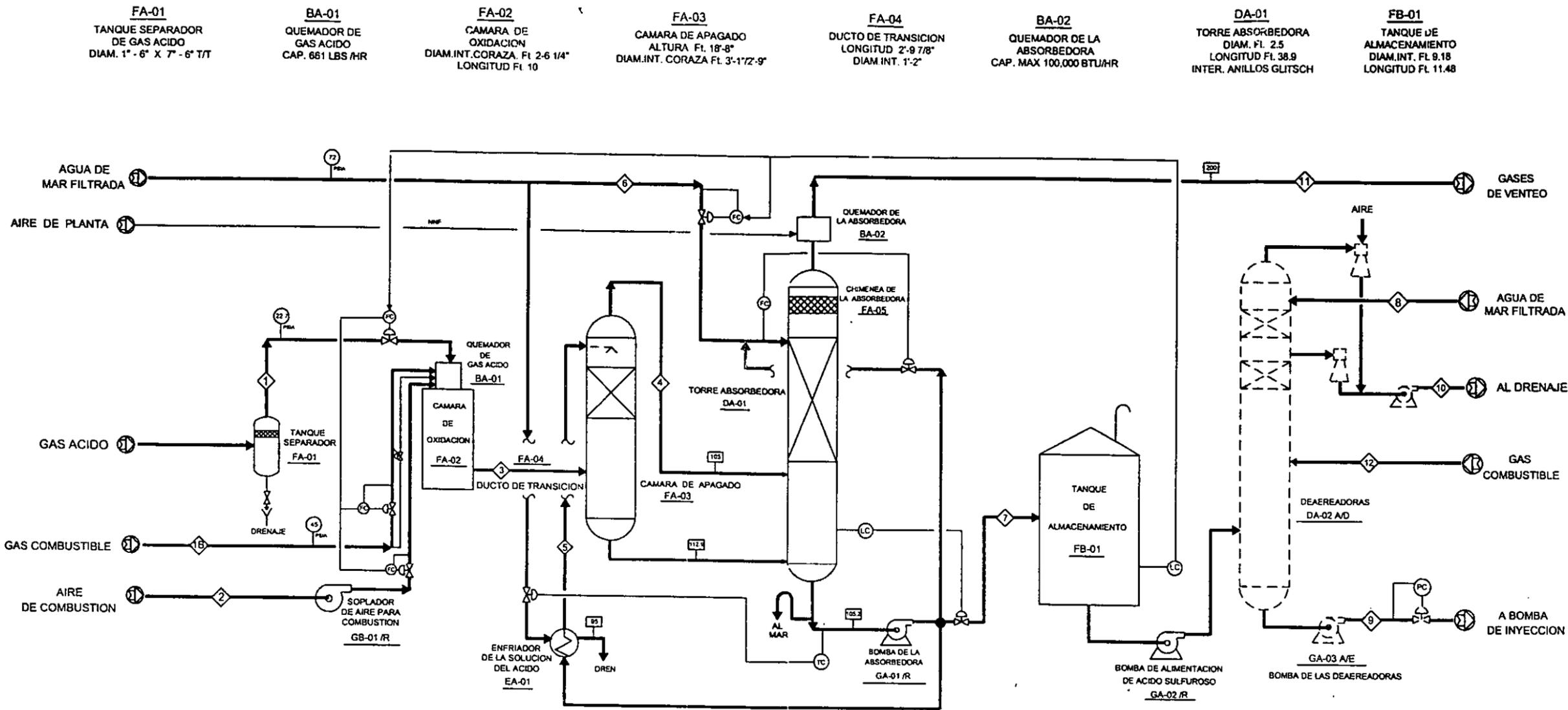
En el diagrama DFP 3.1. se muestran las corrientes principales involucradas tanto en la sección de generación de ácido sulfuroso como en la sección de distribución del producto.

El diagrama (DFP 3.1) está referido para la capacidad normal de tratamiento de 0.75 MMBPD.

La lista de equipo del paquete se puede observar en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 LISTA DE EQUIPO DEL PAQUETE DE GENERACIÓN DE ACIDO SULFUROSO

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
BA-01	Quemador de Gas Ácido
BA-02	Quemador de la Absorbadora
DA-01	Torre Absorbadora de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )
DA-02 A/D	Torres Deaeradoras
EA-01	Calentador de la Solución del Ácido
FA-01	Tanque Separador de Gas Ácido
FA-02	Cámara de Oxidación
FA-03	Cámara de Apagado (Enfriamiento)
FA-04	Ducto de Transición
FA-05	Chimenea de la Absorbadora
FB-01	Tanque de Almacenamiento de Ácido Sulfuroso (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
GA-01 / R	Bombas de la Absorbadora
GA-02 / R	Bombas del Tanque de Almacenamiento
GA-03 A/E	Bombas de las Deaeradoras
GB-01 / R	Sopladores de Aire para Combustión



**FA-01**  
TANQUE SEPARADOR DE GAS ACIDO  
DIAM. 1" - 6" X 7" - 6" T/T

**BA-01**  
QUEMADOR DE GAS ACIDO  
CAP. 661 LBS /HR

**FA-02**  
CAMARA DE OXIDACION  
DIAM.INT. CORAZA. Ft. 2-6 1/4"  
LONGITUD Ft. 10

**FA-03**  
CAMARA DE APAGADO  
ALTURA Ft. 18'-8"  
DIAM.INT. CORAZA Ft. 3'-1 7/8"

**FA-04**  
DUCTO DE TRANSICION  
LONGITUD 2'-9 7/8"  
DIAM INT. 1'-2"

**BA-02**  
QUEMADOR DE LA ABSORBEDORA  
CAP. MAX 100,000 BTU/HR

**DA-01**  
TORRE ABSORBEDORA  
DIAM. Ft. 2.5  
LONGITUD Ft. 38.9  
INTER. ANILLOS GLITSCH

**FB-01**  
TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
DIAM.INT. Ft. 9.18  
LONGITUD Ft. 11.48

**GB-01 /R**  
SOPLADORES DE AIRE PARA COMBUSTION  
TIPO: CENTRIFUGO  
CAP. Ft<sup>3</sup>/min. 588.2 @ 86 °F Y 1 ATM

**EA-01**  
ENFRIADOR DE LA SOLUCION DEL ACIDO  
CARGA TERM. BTU/HR 884.400  
No. PLACAS 26

**GA-01 /R**  
BOMBAS DE LA ABSORBEDORA  
TIPO: CENTRIFUGA  
CAP NOR. gpm. 460

**GA-02 /R**  
BOMBAS DE ALIMENTACION DE ACIDO SULFUROSO  
TIPO: CENTRIFUGA  
CAP NOR. gpm. 100

**GA-03 A/E**  
BOMBAS DE LAS DEAERADORAS  
TIPO: CENTRIFUGA  
CAP NOR. gpm. 7300

**FA-05**  
CHIMENEA DE LA ABSORBEDORA  
DIAM.INT. Ft. 0.833  
LONGITUD Ft. 20

**DA-02 A/D**  
TORRES DEAERADORAS  
DIAM.INT. Ft. 13.5  
LONGITUD Ft. 58

- NOTAS**
- NNF NORMALMENTE SIN FLUJO
  - PRESION PSIA
  - TEMP. °F
  - EL EQUIPO TRAZADO CON ESTA LINEA NO PERTENECE AL PROCESO DE GENERACION

CORRIENTES	MOL WT.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		1B			
		GAS ACIDO		AIRE DE COMBUSTION		GASES DE COMBUSTION		GASES DE APAGADO		SOLUCION DE APAGADO		AGUA DE MAR TRATADA		ACIDO SULFUROSO		ALIMENTACION AL DEAERADOR		AGUA DE MAR ACIDA		RESIDUOS AL DRENAJE		GASES DE VENTEO		GAS COMBUSTIBLE			
COMPONENTES		MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.	MPH	MOL FR.		
ACIDO SULFHDRIICO	34	4.0	0.254																								
DIOXIDO DE CARBONO	44	9.61	0.611			11.664	0.133	11.664	0.141																		
DIOXIDO DE AZUFRE	64					4.0	0.045	4.0	0.048	8.557	0.0015			3.700	0.0015							11.664	0.153	0.003	0.007		
OXIGENO	32			14.867	0.202	5.060	0.057	5.060	0.061													0.30	0.004				
NITROGENO	28	0.026	0.002	55.926	0.759	55.95	0.675	55.952	0.675					2.60				2.61	1.00			5.060	0.067				
AGUA	18	1.019	0.065	2.843	0.039	11.38	0.129	6.217	0.075	5501.15	0.9881	2371.4	0.990	2378.7	0.9881	603481	0.990	605859.8	0.990			55.85	0.736				
CH <sub>4</sub>	16	0.782	0.050																								
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30	0.213	0.014																					0.286	0.70		
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	0.058	0.004																					0.064	0.158		
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	0.020	0.001																					0.058	0.138		
TOTAL MOLS/hr		15.735	1.0	73.637	1.0	88.063	1.00	82.893	1.00	5567.47	1.00	2395.67	1.00	2407.7	1.00	609820.4	1.00	612220.9	1.00			2.61	1.00	78.017	1.00	0.409	1.00
TEMPERATURA °F		125.0		85.0		2158		105.0		100.0		85.0		105.3		60.0		60.0				60.0				60.0	
FLUJOS: Ft <sup>3</sup> /min		99.5		314.5		557.0		524		200.0		88.0		86.90		21919		22005				18.50		85		85	
gpm																											
PRESION (psia)		17.7		15.19		15.13		14.8																			

**U N A M**  
**F E S ZARAGOZA**

COMPLEJO ABKATUN DE INYECCION DE AGUA

**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**  
PAQUETE DE GENERACION DE ACIDO SULFUROSO  
0.75 MMBPD AGUA DE MAR

DFP 3.1.

### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO (Ver DTT's D 3.2 a D 3.5).

En este capítulo se hace la descripción del flujo en forma detallada de cada una de las secciones que constituyen al paquete de ácido sulfuroso, en referencia a las condiciones para el tratamiento de 0.75 MMBPD de agua de inyección.

Para propósitos de descripción, el paquete de ácido sulfuroso ha sido dividido en las siguientes secciones:

- ❖ Servicios Auxiliares para la Combustión.
- ❖ Oxidación y Apagado.
- ❖ Absorción.
- ❖ Almacenamiento y Distribución.

#### 3.2.1. Sección de servicios auxiliares para la combustión (ver diagrama D 3.2).

Esta sección tiene como objetivo principal recibir y adecuar el suministro de los servicios auxiliares necesarios para la combustión tanto del gas ácido como del gas combustible.

##### *SUMINISTRO DE GAS ÁCIDO.*

El gas ácido húmedo procedente de tres plantas endulzadoras, a una presión de 22.7 psia ( 8 psig), 125 °F y a un flujo de 99.5 Ft<sup>3</sup>/min en condiciones estándar, se recibe en el tanque separador FA-01 por medio de la línea 3"-AG-02-CA1, donde son separados los líquidos arrastrados por el gas. El FA-01 cuenta con los interruptores por alto y bajo nivel LSH-01 Y LSL-01, enviando su señal a la válvula LV-01 cuya función es controlar la salida de los líquidos retenidos hacia una trampa neumática a través de la línea de 1"-OD-01-CG1.

Adicionalmente el recipiente FA-01 cuenta con el vidrio de nivel LG-01 y el interruptor por muy alto nivel LSHH-01 para activar la alarma LAHH-01 en el cuarto de control principal mediante el sistema de control (SC).

El gas libre de líquidos abandona el recipiente FA-01 por la parte superior a través de la malla separadora para dirigirse por medio de la línea 3"-AG-01-CA1, hacia el quemador de gas ácido BA-01. Sobre dicha línea se cuenta con la siguiente instrumentación: válvulas de seguridad PSV-01 A/B, un indicador de presión PI-01, interruptores por alta y baja presión PSH-01 Y PSL-01 que actúan como permisivos para el encendido del quemador de gas ácido BA-01 y al activarse envían una señal a sus alarmas correspondientes PAH-01 Y PAL-01 localizadas en el cuarto de control principal y configuradas en el SC, un transmisor indicador de flujo FIT-01 cuya señal es linearizada en el SC por medio del instrumento extractor de raíz FY-01. Este último, envía la señal a la siguiente instrumentación también configurada en el

SC, interruptor por muy bajo flujo de gas ácido FSLL-01B cuya función es enviar una señal de corte a la válvula de suministro de agua de mar filtrada FV-05 (D 3.4), alarmas por bajo y muy bajo flujo de gas ácido FAL-01 y FALL-01 respectivamente, y al controlador indicador de flujo FIC-01 que gobierna a la válvula FV-01.

El FIC-01 forma parte del control en "cascada" con el controlador indicador de nivel LIC-04 quien gobierna el nivel en el tanque de almacenamiento de ácido sulfuroso FB-01, siendo el primer controlador el "esclavo" y el último el "maestro". También el FIC-01 recibe una señal del interruptor por bajo flujo de agua de mar filtrada FSL-05B configurado en el SC y con toma de señal a la entrada de agua a la torre absorbidora DA-01 para posicionar a la válvula FV-01 en su flujo mínimo.

Finalmente, el mismo FIC-01 cuenta con la característica "BIAS" que permite ajustar los límites de flujo mínimo y máximo de gas ácido permitidos por el quemador BA-01.

Así mismo, se dispone del interruptor local de posición de flujo mínimo ZS-01 el cual envía su señal al control de secuencia de encendido.

Posterior a la válvula de flujo FV-01, se cuenta con el indicador local PI-02, las válvulas de corte UV-01 y UV-02, así como la válvula de venteo intermedia SV-02, todas ellas son accionadas por el control de secuencia de encendido, para que al fin el gas ácido entre al quemador BA-01 a una presión de 17.7 psia, es decir 3 psig.

#### *SUMINISTRO DE GAS COMBUSTIBLE*

Se necesita gas combustible auxiliar para el calentamiento gradual del material refractario en la cámara de oxidación FA-02 y al ducto de transición FA-04, así como para elevar la temperatura de dichos equipos en posteriores arranques.

Se requiere un suministro continuo de gas combustible al piloto, al igual que se requiere suministro a flujo mínimo de gas combustible al quemador principal a fin de poder introducir gas combustible rápidamente en el caso de una pérdida de suministro de gas ácido. De esta manera se mantiene a la cámara de oxidación FA-02 en condición de "stand-by", a una temperatura adecuada y en espera de suministro de gas ácido.

Para lo anterior, se dispone de la línea de gas combustible 1"-FG-01-CG1 la cual se divide en dos:

➤ GAS COMBUSTIBLE AUXILIAR

La primera línea es la 1"-FG-01-CG1 la cual suministra el gas combustible auxiliar (gas al quemador) y cuenta con la siguiente instrumentación: válvula reguladora PCV-01 y en paralelo como relevo la PCV-01A, un indicador local PI-03, interruptores por alta y baja presión PSH-02B y PSL-02A respectivamente que funcionan como permisivos para el encendido del piloto del quemador de gas combustible y quemador de gas ácido. Ambos interruptores envían su señal al SC en donde accionan las alarmas correspondientes PAH-02B y PAL-02A, en el cuarto de control principal.

Corriente abajo a los interruptores, la línea de gas combustible cuenta con el transmisor indicador de flujo FIT-02 enviando su señal al SC donde está configurado el extractor de raíz FY-02 para linearizar la señal. El FY-02 también envía su señal al controlador FIC-02, mismo que la dirige como señal de control hacia la válvula de flujo FV-02 instalada en la línea de gas combustible.

El controlador TIC-03 se encuentra en cascada con el controlador FIC-02, manteniendo a la cámara de oxidación a una temperatura por arriba de los 1850 °F. Este TIC controla el flujo de gas combustible al quemador, y asegura que la temperatura en la cámara de oxidación sea mantenida en condición de "stand-by", en el caso de una interrupción de suministro de gas ácido. Esto previene ciclos de calentamiento y enfriamiento rápidos, los cuales podrían causar daño al material refractario de la cámara de oxidación FA-02.

Una vez que haya sido encendido el quemador principal durante el curado del material refractario, el controlador TIC-03 podrá ser también utilizado para controlar la temperatura en la cámara de oxidación.

Más abajo se cuenta con las válvulas de corte SV-03 y SV-04, así como la de venteo intermedia SV-05; todas ellas accionadas para apertura y cierre por la secuencia de encendido del quemador de gas combustible.

Se dispone del interruptor local de posición de flujo mínimo ZS-02 el cual envía su señal al control de secuencia de encendido.

Finalmente, la línea 1"-FG-01-CG1 dispone de una válvula de bloqueo y del indicador local PI-04; para que luego entre el gas al quemador BA-01, a una presión de 19.7 psia, es decir 5 psig.

➤ GAS COMBUSTIBLE AL PILOTO

La segunda línea que se deriva de la línea 1"-FG-01-CG1 corresponde a la línea ½"- FG-01-1-CG1 de suministro de gas combustible al piloto y cuenta con la siguiente instrumentación: válvula reguladora PCV-02 y en paralelo como relevo la válvula PCV-02A, un interruptor por baja presión de gas combustible PSL-02 el cual funciona como permisivo para el encendido del piloto del quemador de gas combustible y quemador de gas ácido. La misma señal del PSL-02 es enviada al cuarto de control principal para activar la alarma PAL-02.

Corriente abajo del interruptor se tienen instaladas las válvulas de corte SV-06 y SV-07 con válvula de venteo intermedia SV-08, todas ellas accionadas para apertura o cierre por acción de la secuencia de encendido.

Finalmente, la línea de gas combustible tiene instalada una válvula de bloqueo, y antes de entrar al piloto; se le une la línea con la válvula de bloqueo proveniente del plenum de aire de la cámara de oxidación para realizar una mezcla previa a la inflamación. En su extremo antes de conectarse al piloto, la línea tiene una placa de orificio de 1/16" de diámetro (D 3.2).

*SUMINISTRO DE AIRE DE COMBUSTIÓN*

Se requiere aire necesario para la combustión del gas ácido para poder quemar el gas combustible, así como el necesario para el encendido del piloto; éste es proporcionado por los sopladores de aire GB-01/R de los cuales uno opera normalmente, mientras que el otro permanece de relevo. El incremento en la pérdida de rendimiento de estos sopladores reducirá la capacidad de la planta.

La operación de los sopladores que son accionados por un motor eléctrico de 7.5 HP puede efectuarse en forma manual o automática. La forma manual se hace mediante la siguiente estación local de botones, que involucra luces indicadoras:

SOPLADOR DE AIRE	BOTON		LUZ INDICADORA	
	ARRANQUE	PARO	ARRANQUE	PARO
GB-01	PB-01	PB-02	XL-01	XL-02
GB-01R	PB-04	PB-03	XL-04	XL-03

Tabla 3.2.

En adición a la estación local de botones, en el tablero principal de control, se tiene la luz indicadora de operando XL-05 para el soplador GB-01, mientras que para el GB-01R, la XL-06. La operación automática se lleva a cabo mediante la energización del tablero local, previa a la selección del soplador mediante el selector HS-01 localizado en dicho tablero.

En la descarga de cada soplador se tiene instalada una válvula de corte accionada por la señal de energización del motor correspondiente, siendo la UV-03 para el GB-01 y la UV-04 para el soplador GB-01R.

El aire del soplador previamente seleccionado, descarga en el cabezal 6"-CA-01-C2, con un flujo de operación de 314.5 Ft<sup>3</sup>/min a una presión de 34 pulgadas de agua y temperatura aproximadamente de 85 °F.

Dicho cabezal tiene instalada la siguiente instrumentación: un interruptor por baja presión PSL-03 que al llegar a su punto de disparo, arranca al soplador de relevo, un indicador local PI-05, una válvula de flujo FV-03 accionada para apertura total por medio de la secuencia de encendido del piloto durante la etapa del "barrido" de la cámara de oxidación, a través de la válvula solenoide SV-09 y verificado por el interruptor de posición de la válvula ZS-03. Durante esta secuencia, la válvula FV-03 se mantiene abierta completamente por un periodo de 30 segundos a fin de purgar cualquier mezcla explosiva que pudiera haberse formado en la cámara de oxidación, previo al encendido del piloto.

La válvula FV-03 recibe señal del FIC-03 configurado en el SC. El flujo de aire de combustión es sensado por el FIT-03 instalado corriente abajo de la válvula de flujo, la cual transmite la señal al SC donde es linearizada a través del extractor FY-03. Este último, envía la señal a los interruptores por bajo flujo FSL-03 y FSL-03B; el primero para activar la alarma en el cuarto de control FAL-03, y el segundo como permisivo para el encendido del piloto del quemador de gas combustible y quemador de gas ácido.

La señal recibida por el FIC-03 por parte del FY-03, es comparada con su punto de ajuste dado, así como la señal enviada por el totalizador FY-01C. El FY-01C totaliza el aire requerido para:

- ◆ El gas ácido, el cual recibe señal del multiplicador FY-01F.
- ◆ Gas combustible principal, el cual recibe señal del multiplicador FY-02B.
- ◆ Gas a piloto para el cual una constante interna ha sido introducida en el totalizador FY-01C.

Esta señal totalizada es entonces utilizada por el controlador FIC-03 para controlar el aire en la relación requerida para la combustión. Esta característica hace que el control del FIC-03 esté en "cascada" con el FIC-01 y el FIC-02, siendo el primero el control "esclavo", mientras que el segundo es el "maestro".

En términos generales la "cascada" mencionada, permitirá que el flujo de aire proporcionado por el soplador, sea el flujo que corresponda a la estequiometría para la combustión del gas ácido y/o gas combustible; el cual deberá incluir exceso de aire, así como el requerido para mantener el piloto encendido.

El flujo de aire controlado, entra al conjunto del quemador BA-01 / cámara de oxidación FA-02, a una presión de aproximadamente 15.19 psia, es decir; 0.49 psig, para mantener la combustión del ácido sulfhídrico y/o gas combustible.

Cuando la temperatura en la cámara de oxidación exceda los 2102 °F, la relación de aire a gas ácido se debe incrementar para enfriar la cámara de oxidación.

Lo anterior se realiza a través de los extractores de raíces FY-01D y FY-01E, los cuales comparan la temperatura en la cámara de oxidación y proveen un multiplicador para ajustar la relación aire / gas.

A la temperatura de 2102 °F, el multiplicador es 1, mientras que a 2264 °F, el multiplicador es 2. Utilizando este multiplicador, el ajuste de la relación aire/gas desde el FY-01B es llevado a cabo por el extractor de raíz FY-01F.

El cabezal de aire antes mencionado cuenta con la derivación 1"-CA-01-1-C2 cuya función es suministrar aire para el enfriamiento de la fotocelda BE-01, así como la de barrer las posibles obstrucciones por ceniza o polvo del material refractario. Esta derivación dispone de la válvula de corte SV-10 accionada para su apertura por señal de arranque del soplador GB-01 o GB-01R.

Durante un paro repentino, la temperatura de la cámara de oxidación hace posible la conversión del gas ácido remanente; por lo que para evitar en estos momentos el ensuciamiento de la fotocelda BE-01, se cuenta con la línea de aire de instrumentos 1"-IA-01-C2 que se encuentra interconectada posteriormente a la válvula de corte antes mencionada, la SV-10. La línea de aire de instrumentos tiene instalado el indicador PI-06, placa de orificio FO-01, así como la válvula de corte SV-11 la cual es accionada para su apertura en caso de falla de suministro eléctrico al paquete de sulfuroso.

Físicamente, todas las instalaciones involucradas en la sección de suministro y control de los servicios auxiliares para la combustión, se encuentran localizadas en la cubierta superior de la plataforma.

### 3.2.2. Sección de Oxidación y Apagado (ver diagrama D 3.3)

El objetivo de esta sección del paquete, es efectuar la combustión y enfriamiento del gas ácido y está constituida por el siguiente equipo:

- ❖ BA-01 quemador de gas ácido.
- ❖ FA-02 cámara de oxidación.
- ❖ FA-03 cámara de apagado.
- ❖ FA-04 ducto de transición.

El quemador BA-01 integra físicamente al quemador de gas combustible, así como un piloto común para ambos quemadores.

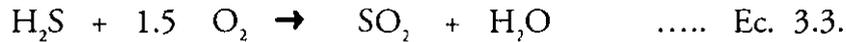
El quemador BA-01 se encuentra físicamente montado sobre la cámara de oxidación FA-02, formando un solo cuerpo.

*OXIDACIÓN (COMBUSTIÓN)*

El gas ácido con un flujo controlado de 104.4 Ft<sup>3</sup>/min en condiciones normales a una presión de 3 psig y 125 °F, es alimentado al quemador BA-01 por medio de la línea 3"-AG-01-CA1, donde simultáneamente en base a la estequiometría de combustión e incluyendo el exceso, son suministrados a control de flujo 387.2 Ft<sup>3</sup>/min de aire a 0.49 psig y 85 °F por medio de la línea 6"-CA-01-C2.

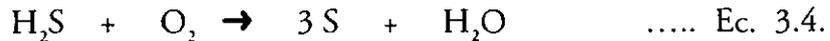
La combustión del gas ácido es efectuada aproximadamente a una temperatura de 2102 °F actual y 2.14 psig, en la cámara de oxidación FA-02, en donde los gases tienen un tiempo de residencia mínimo de 1 segundo.

La reacción de combustión del ácido sulfhídrico es casi completa a la temperatura mencionada, siendo la siguiente:



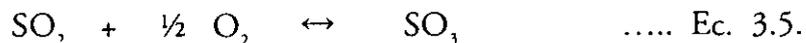
Es muy importante que el aire para la combustión este siempre en exceso (15 % mínimo) en la cámara de oxidación, de tal manera que un porcentaje de 2-4 % en volumen se mantenga a la salida de la misma, con exceso de aire adicional.

Hay que tener cuidado en la cantidad estequiométrica necesaria, ya que una combustión incompleta podría dar lugar a la formación de azufre elemental de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción es totalmente indeseable, ya que el azufre elemental entra como un sólido suspendido, creando grandes problemas, tanto en el paquete como en el sistema de inyección.

Con aire adicional, la oxidación procede más aún de acuerdo con la siguiente relación de equilibrio:



La concentración de SO<sub>3</sub> es pequeña comparada con la de SO<sub>2</sub>.

El quemador BA-01 tiene instalada la fotocelda BE-01 cuya función es detectar la flama presente en la cámara de oxidación, para enviar la señal al programador de falla de flama BS-01 localizado en la parte interna del tablero de control local.

La cámara FA-02 tiene instalado el transmisor de temperatura TT-03; quien envía su señal a través del SC, a la siguiente instrumentación localizada en el cuarto de control: indicador TI-03 y a los interruptores por muy alta, alta y baja temperatura (TSHH-03, TSH-03 y TSL-03 respectivamente).

Estos últimos activan a sus respectivas alarmas TAHH-03, TAH-03 y TAL-03; localizadas también en el cuarto de control. Por último, el mismo transmisor TT-03 envía la señal al interruptor TSHH-03B que funciona como permisivo para la secuencia de encendido del piloto.

En adición, la cámara de oxidación dispone del transmisor indicador de temperatura local TIT-03A. Adicionalmente, cuenta con doce preparaciones distribuidas equitativamente a tres elevaciones, para monitorear la temperatura externa de la cámara.

Los gases de combustión descienden por la cámara de oxidación y son dirigidos hacia la cámara de apagado FA-03 a una presión de aproximadamente 2.14 psig.

#### *APAGADO (ENFRIAMIENTO)*

Los gases producto de la combustión con un flujo de 557 Ft<sup>3</sup>/min y 2158 °F entran por la parte inferior de la cámara de apagado FA-03, a través del ducto de transición FA-04, para su enfriamiento.

Los gases de combustión al entrar a la cámara, son parcialmente enfriados y posteriormente ascienden por el lecho empacado de siete pies de altura compuestos por anillos de cerámica "flexisaddle" de 2 pulgadas, donde al ponerse en contacto a contracorriente con solución de ácido sulfuroso a 100 °F (solución de apagado); son enfriados hasta 105 °F. Una vez enfriados, los gases salen por el domo de la cámara de apagado a razón de 524 Ft<sup>3</sup>/min a c.s. para dirigirse hacia la torre absorbadora DA-01 por conducto de la línea 8"-CG-01-PL2, la cual tiene instalado el instrumento local de medición de temperatura TI-05.

La solución de ácido sulfuroso para el enfriamiento con un flujo de 200 gpm y aproximadamente 100 °F es suministrada por la línea 4"-SA-01-PL2 proveniente de la descarga de la bomba de la absorbadora GA-01/R.

Esta solución es alimentada por la parte superior de la cámara en donde es distribuida uniformemente con ayuda del distribuidor interno de material cerámico.

La línea 4"-SA-01-PL2 tiene instalado el transmisor indicador de flujo local FIT-04 el cual a través del SC, envía la señal mediante el linearizador FY-04 al indicador de flujo en tablero principal FI-04. El mismo FY-04 dirige su señal hacia el interruptor por bajo flujo FSL-04B el cual actúa como permisivo en la secuencia de encendido del piloto, quemador de gas combustible y quemador de gas ácido, así como a la alarma en tablero principal FAL-04.

Una vez cumplida su función, la solución de enfriamiento sale por la cámara de apagado FA-03 mediante la línea 10"-SA-03-PL2 para retornar por gravedad hacia la torre absorbadora DA-01.

Esta línea tiene instalado el indicador local TI-01, así como el transmisor de temperatura TT-02 quien envía su señal al indicador TI-02 y a la alarma TAH-02 activada por su interruptor TSH-02; todos ellos configurados en el SC.

Por otra parte, con el propósito de evitar posibles arrastres de material sólido (refractario, anillos de cerámica, etc.), en la solución, que pudiera afectar a las bombas de la torre absorbadora GA-01/R; la boquilla de salida de 16 pulgadas de diámetro, cuenta con una prolongación interna con cubierta protectora en el extremo superior.

La cámara de apagado tiene instalado el vidrio de nivel LG-02 y como una medida de protección por un posible taponamiento de la línea proyectada y para evitar el humedecimiento del material refractario instalado en el ducto de transición FA-04, la cámara cuenta con el interruptor por alto nivel LSH-02. Este último instrumento, activa su alarma correspondiente LAH-02 en cuarto de control, al mismo tiempo que actúa como permisivo para el encendido del piloto, del quemador de gas combustible y quemador de gas ácido, es decir; envía señal de paro del paquete.

En adición, la cámara de apagado FA-03 tiene instalado el indicador local PI-07, un interruptor por alta presión PSH-03, así como el transmisor de presión diferencial PDT-01 con tomas de señal en la parte inferior del lecho empacado y la línea de gases enfriados, la 8"-CG-01-PL2. El interruptor activa la alarma PAH-03 en el tablero principal, a la vez que actúa como permisivo de secuencia de encendido del piloto, del quemador de gas combustible y del quemador de gas ácido. Por otra parte, el PDT-01 dirige su señal neumática al indicador local PDI-01.

Por último, en el área anexa al ducto de transición, la cámara de apagado dispone de cuatro preparaciones para la conexión de sensores con el propósito de monitorear la temperatura externa del equipo.

### 3.2.3. Sección de Absorción (ver diagrama D 3.4)

Esta sección tiene como objetivo principal, absorber el  $\text{SO}_2$  contenido en la mezcla gaseosa proveniente de la cámara de apagado, al ponerse en contacto a contracorriente con un flujo controlado de agua de mar, de acuerdo a la siguiente reacción:



La mezcla de gases a razón de  $388.4 \text{ Ft}^3/\text{min}$  en condiciones normales,  $105 \text{ }^\circ\text{F}$  y  $14.8 \text{ psia}$  ( $0.10 \text{ psig}$ ), a través de la línea  $8''\text{-CG-01-PL2}$  entra por la parte baja de la absorbedora DA-01, la cual opera a presión atmosférica. Los gases ascienden a través del lecho empacado de 20 pies de altura compuesto por anillos Glitch-cmr No. 2A, donde sólo es absorbido el 92.5 % del  $\text{SO}_2$  contenido en los gases, al ponerse en contacto a contracorriente con un flujo de agua de mar filtrada de  $86.143 \text{ gpm}$ , y  $85 \text{ }^\circ\text{F}$ .

Los gases prácticamente pobres en  $\text{SO}_2$  pasan por la malla separadora donde se retiene el agua arrastrada para que finalmente el gas abandone a la torre absorbedora a través de la chimenea FA-05, con un previo calentamiento en el quemador BA-02.

La torre absorbedora DA-01 cuenta con la siguiente instrumentación: un indicador de presión diferencial local PDI-02 y el transmisor PDT-02 con tomas entre la parte superior de la malla separadora y la parte inferior del lecho empacado. Este último instrumento envía su señal hacia el cuarto de control principal vía SC, al indicador PDI-02, así como al interruptor por alta presión diferencial PDSH-02; quien activa la alarma PDAH-02. Esta instrumentación sirve para supervisar el grado de ensuciamiento interno, lo cual podría causar deficiencias en el proceso de absorción.

En adición, la absorbedora dispone del indicador local PI-08, vidrio de nivel LG-03 y el transmisor LIT-03. Este último, a través del SC envía su señal al cuarto de control principal; a los interruptores LSL-03, LSH-03, LSHH-03 Y LSHH-03B de los cuales los tres primeros activan a sus respectivas alarmas LAL-03, LAH-03 y LAHH-03 al llegar a su punto de disparo. El LSHH-03B actúa como un permisivo para el encendido del piloto, del quemador de gas combustible y quemador de gas ácido.

La señal del LIT-03 también es recibida por el controlador indicador de nivel LIC-03 quien gobierna a la válvula LV-03, a través de la cual el producto es enviado a la sección de almacenamiento.

**MANEJO DE LA SOLUCION ACIDA**

La solución ácida a razón de 327.0 gpm, 105 °F y concentración aproximadamente de 0.5 a 0.8 % en peso; sale por el fondo de la absorbidora por conducto de la línea 8"-SA-04-PL2 hacia las bombas de la absorbidora GA-01/R. Previo a la succión de estas bombas existe la derivación de 6"-SA-05-PL1 con pierna invertida situada a una altura un poco mayor al nivel máximo de operación de la torre (6.9 pies), con venteo para romper el sifón (vacío) y cuyo uso será durante el evento de admisión de agua de emergencia hacia la cámara de apagado cuando ocurra una falla de suministro eléctrico al paquete.

La misma línea 8"-SA-04-PL2 cuenta con el elemento sensor de temperatura TE-04, transmisor TT-04 enviando su señal a la siguiente instrumentación a través del SC, para controlar la temperatura de la solución de apagado hacia la cámara FA-03: TIC-04, TSH-04, TSH-04B, TSHH-04 Y TSHH-04B.

Con el fin de evitar daños a internos de las bombas GA-01/R por un posible arrastre de material sólido, en la succión de cada unidad se tiene instalado un colador tipo cónico (cono de bruja), cuyo grado de limpieza podrá verificarse mediante los indicadores de presión diferencial PDI-03 y PDI-04.

El arranque/paro de estos equipos cuyo accionador es un motor eléctrico de 30 HP, es efectuada en forma manual por la siguiente estación local de botones, la cual incluye luces de estatus:

BOMBA	BOTON		LUZ INDICADORA	
	ARRANQUE	PARO	ARRANQUE	PARO
GA-01	PB-05	PB-06	XL-07	XL-08
GA-01R	PB-07	PB-08	XL-09	XL-10

Tabla 3.3.

En adición, en el cuarto de control principal se dispone de las luces indicadoras de "operando" XL-11 para la bomba GA-01A y XL-12 para GA-01R.

La línea de descarga de cada bomba cuenta con una válvula check, un indicador de presión y una válvula de bloqueo:

BOMBA	LINEA DE DESCARGA	INDICADOR
GA-01	6"-SA-06-PL2	PI-09
GA-01R	6"-SA-07-PL2	PI-10

Tabla 3.4.

Ambas bombas descargan en el cabezal 6"-SA-02-PL2, la cual cuenta con las siguientes tres derivaciones:

La línea 2"-SA-06-2-PL2 cuenta con una válvula de globo y un orificio de restricción de presión FO-02, la cual a la vez está interconectada a la línea de flujo mínimo 2"-SA-06-1-PL2, que retorna un flujo de aproximadamente 40 gpm de manera continua, hacia la torre absorbedora.

La línea de 6"-SA-06-PL2 suministra los 200 gpm de solución ácida como medio de enfriamiento requerido por la cámara de apagado FA-03, a la cual puede adjudicarse un flujo mínimo de 10 gpm que se derivará a la absorbedora DA-01 por conducto de la línea 3"-SA-08-PL2, cuando el suministro de agua de mar filtrada a dicho equipo sea suspendido por alto nivel en la misma. Este último flujo, es el mínimo flujo requerido para el humedecimiento de la sección empacada de la torre.

Es la línea 4"-SA-09-PL2 la cual envía normalmente 86.864 gpm de ácido sulfuroso hacia la sección de almacenamiento localizada en la cubierta superior de la plataforma de tratamiento y bombeo P.T.B. Esta línea tiene instalada la válvula de nivel LV-03 gobernada por el controlador de nivel LIC-03. En adición a la señal del controlador, la LV-03 cuenta con accionamiento a corte mediante la válvula solenoide SV-12 por señal del interruptor por muy alto nivel en el tanque de almacenamiento de ácido sulfuroso FB-01.

#### *SUMINISTRO DE AGUA DE MAR FILTRADA*

El agua de mar necesaria para la absorción del SO<sub>2</sub> (86 gpm en condiciones normales) es proporcionada por la línea 6"-SW-05-PL1 que proviene de la plataforma de tratamiento y bombeo vía puente de tuberías. De esta línea se deriva la 4"-SW-06-PL1 suministrando como máximo 200 gpm de agua como medio de enfriamiento al EA-01 mediante la válvula TV-03 accionada por apertura por la válvula solenoide SV-13 que a su vez es activada por el interruptor TSH-04B. Como se mencionara en párrafos posteriores, el suministro de agua al enfriador por medio de la TV-03 será únicamente durante condiciones extremas, debiéndose mantener constante un flujo de aproximadamente 15 gpm de agua de mar al enfriador EA-01 a través de la línea 1 ½ "-SW-06-PL1 que tiene instalada la válvula de globo, orificio de restricción FO-03 y el indicador local PI-11.

La descarga del agua de enfriamiento del EA-01 hacia el mar a 95 °F es efectuada mediante la línea 4"-SW-07-PL1 que tiene instalado el indicador local de temperatura TI-04. Esta línea se encuentra conectada al cabezal general de drenajes 6"-SA-05-PL1.

La línea 6"-SW-05-PL1 es la que conduce el agua de mar a la absorbedora. Antes del suministro, la 4"-SW-05-PL1 dispone del indicador local PI-12 y el transmisor de flujo FIT-05.

Este último instrumento toma su señal del FE-05 y la envía al cuarto de control, en donde en el SC se tiene configurada la siguiente instrumentación: extractor de raíz FY-05 que lineariza la señal de flujo para enviarla al interruptor FSL-05B que al llegar al punto de disparo dirigirá su señal hacia el controlador de gas ácido FIC-01 para que posicione a su válvula FV-01 en el flujo mínimo de gas ácido. La señal del FY-05 también la recibe el interruptor FSL-05 quien activa la alarma en tablero principal FAL-05, así como el controlador FIC-05 que controla a la válvula de agua de mar FV-05 que permite la admisión de un flujo normal de 86 gpm a 57.3 psig. La misma válvula puede accionarse para cierre total por medio de la válvula solenoide SV-14 que recibe señal de cualquiera de los siguientes interruptores: por muy bajo flujo de gas ácido FSLL-01B, por muy alto nivel en la absorbidora LSHH-03B y por muy alto nivel en el tanque de almacenamiento LSHH-05.

Posterior a la válvula FV-05 se cuenta con una válvula de retención y posterior a esta es interconectada la línea 3"-SA-08-PL2. En esta línea se cuenta con el elemento de flujo FE-06 enviando su señal al transmisor FIT-06, el cual dirige la señal a través del SC a la siguiente instrumentación localizada en el cuarto de control: FY-06 que lineariza la señal de flujo y la transmite al controlador FIC-06 cuyo objetivo es mantener un flujo mínimo de entrada a la absorbidora DA-01. Cuando por cualquier razón se corte el flujo de agua de mar a la absorbidora, o se detecte un flujo igual o menor a 10 gpm; el controlador FIC-06 mandará la señal de control para abrir a la válvula FV-06 montada sobre la línea 3"-SA-08-PL2 permitiendo la entrada de solución ácida para mantener el flujo mencionado, como mínimo a la absorbidora.

#### *SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA SOLUCION ACIDA*

Con un flujo de agua de mar filtrada de 86 gpm hacia la torre absorbidora DA-01 y una eficiencia de recuperación del 92.5 % de  $\text{SO}_2$  en la misma, la temperatura adiabática de la solución a una concentración promedio de 0.65 % en peso, es de 105 °F. A esta temperatura (máxima alcanzada) en el fondo de la torre cuando el paquete opera a su capacidad normal (caso 0.75 MMBPD), se considera la existencia de una solución estable para muchos casos, ya que su presión de vapor es de 1.5 psig. Sin embargo, para efectos de almacenamiento y con el propósito de mantener constante la eficiencia de recuperación del  $\text{SO}_2$  antes mencionada, se ha considerado como límite una temperatura máxima de 100 °F, a la que corresponda una solución ácida con presión de vapor de 1.35 psig.

Como consecuencia de esto se tiene la necesidad de enfriar la solución para que en el fondo de la absorbidora se disponga de la temperatura máxima de 100 ° F, lo cual bien podría lograrse aumentando el flujo de agua de mar filtrada por encima de los 86 gpm con lo que se lograría también una solución más diluida, requiriéndose así más volumen de almacenamiento. Por esta razón, se ha incorporado el cambiador de calor tipo placas EA-01, el cual enfría la solución ácida antes de enviarse a la cámara de apagado FA-03.

El flujo de 200 gpm de solución ácida proveniente de la bomba GA-01/R a través de la línea 4"-SA-01-PL2, sigue dos posibles trayectorias:

La primera es pasar a través de la válvula de control de temperatura TV-04 la cual es gobernada por el controlador indicador TIC-04 configurado en el SC. Esta trayectoria será posible cuando la temperatura de la solución en el fondo de la absorbidora sea menor a 100 °F. El controlador TIC-04 recibe la señal desde campo, a través del transmisor TT-04 cuyo elemento sensor se encuentra instalado en la línea de descarga de la absorbidora, la 8"-SA-04-PL2 que representa el cabezal de succión de bombas GA-01/R.

La señal de dicho transmisor también es recibida por los interruptores configurados TSH-04 y TSHH-04, los cuales al llegar a su punto de disparo activaran las alarmas correspondientes en el SC TAH-04 y TAHH-04. Así mismo, la señal es recibida por los interruptores TSH-04B y TSHH-04B; de los cuales el primero al llegar a su punto de disparo, activa a la válvula solenoide SV-13 para abrir la válvula TV-03 instalada en la línea de suministro de agua de mar al enfriador EA-01, la 4"-SW-06-PL1. El TSHH-04B funciona como permisivo para el encendido del piloto del quemador BA-01 y como consecuencia para el encendido del quemador de gas combustible y de gas ácido.

La segunda trayectoria es obligada por acción del controlador TIC-04, ya que cuando la temperatura de la solución en el fondo de la absorbidora alcanza un valor de 100 °F, dicho controlador envía señal de cierre a la válvula TV-04 obligando a la solución a pasar a través del cambiador EA-01, antes de dirigirse a la cámara de apagado FA-03.

Simultáneamente, el interruptor de temperatura TSH-04B envía señal de apertura a la válvula de agua de mar TV-03, por conducto de la válvula solenoide SV-13, tal como se mencionó en el párrafo anterior.

Dada la capacidad actual del cambiador EA-01 es probable que durante la operación del paquete a su capacidad normal (caso: 0.75 MMBPD), la solución ácida para el apagado siga esta trayectoria, es decir; se encuentre en constante enfriamiento con un flujo de 200 gpm de agua de mar.

Por otra parte, se ha considerado la eventualidad de una falta de suministro eléctrico por falla de la generación principal o por falla en el alimentador de energía a este paquete. Bajo estas circunstancias, se suspenderá la alimentación de la solución de enfriamiento a la cámara de apagado FA-03, por paro de las bombas GA-01/R.

Lo anterior trae como consecuencia el problema de la temperatura residual en la cámara FA-03 por efecto del calor radiado de la cámara de oxidación FA-02, con lo

cual sufrirían daños considerables los internos de la misma FA-03 e internos de la absorbidora DA-01.

Por estas razones, se dispone de la línea 3"-FW-08-B1 la cual tiene instalada la válvula solenoide UV-05 accionada para su apertura por falla de suministro de energía eléctrica, a fin de proporcionar agua de la red de agua contraincendio. La disponibilidad de este servicio será observada por el indicador local PI-13. El cambio de servicio se hará en forma manual abriendo la válvula de bloqueo y cerrando la de corte UV-05. La línea 3"-FW-08-B1 se une por conducto de una válvula check a la línea 4"-SA-01-PL2. La descarga del agua de emergencia una vez cumpliendo con su objetivo, sale de la cámara de apagado para pasar hacia la absorbidora, de donde descargara al mar por conducto de la línea 6"-SA-05-PL1.

#### *DISPERSIÓN DE GASES RESIDUALES*

Con el objeto de calentar los gases residuales que salen de la chimenea FA-05 y con ello facilitar la dispersión de los mismos (Bióxido de carbono, bióxido de azufre, nitrógeno, oxígeno), se cuenta con el quemador BA-02 para elevar la temperatura de los gases a un valor ligeramente mayor a 200 °F.

El quemador tiene una capacidad máxima de 100,000 BTU/hr, consume continuamente 11 lb/hr de gas combustible a 14.2 psia de presión y dispone de un sistema de encendido electrónico que genera la flama de encendido (FFG).

El suministro de gas combustible se efectúa mediante la línea ¾"-FG-01-2-CG1 la cual deriva del cabezal de distribución del paquete 1"FG-01-CG1. La tubería tiene instalada una válvula de bloqueo y drene, y posteriormente es dividida en dos líneas.

\* La primera línea cuenta con la válvula autoreguladora PCV-03, válvula solenoide SV-15B accionada por el controlador de encendido, así como con el indicador local PI-14. Posteriormente entra al mezclador, donde se mezcla con aire de planta suministrado por la línea ¾"-UA-01-1-C2, que de la misma manera, dispone de válvula de bloqueo, drene autoreguladora PCV-04, válvula solenoide SV-15A accionada por el controlador de encendido, así como el indicador local PI-15.

Una vez generada la flama, es conducida hacia el quemador por conducto de la línea 1"-FG-01-3-CG1. Esta última línea, cuenta con la tubería de drene ¾"-OD-02-CG1 y trampa para purgado, lo cual debe efectuarse antes del encendido para evitar posibles intentos fallidos de ignición.

La segunda línea de gas es la principal, que suministra el combustible de manera continua al quemador BA-02. Esta línea tiene instalada la válvula autoreguladora PCV-05, indicador local PI-16, válvula solenoide SV-15C con control del tablero de encendido, así como un filtro de gas.

En forma adicional y con el fin de propiciar el ambiente para la combustión de los gases residuales de la chimenea, se cuenta con la línea de aire de planta ¾"-UA-01-2-C2, la cual cuenta con válvula de bloqueo, válvula autoreguladora PCV-06 así como el indicador local PI-17.

### 3.2.4. Sección de Almacenamiento y Distribución (ver diagrama D 3.5)

Esta sección del paquete está localizada en la cubierta superior de la plataforma de tratamiento y bombeo P.T.B., y tiene como función almacenar y distribuir el ácido sulfuroso a los usuarios.

La solución de ácido sulfuroso proveniente de la descarga de las bombas GA-01/R, por conducto de la línea 4"-SA-09-PL2 vía puente de tuberías, con un flujo de 86.90 gpm aproximadamente, una concentración de 0.5 a 0.8 % en peso, y temperatura de 105 °F; se recibe en el tanque de almacenamiento FB-01.

Dicho tanque con una capacidad normal de 4500 galones (17 metros cúbicos), cuenta con la siguiente instrumentación local: vidrio de nivel LG-04, transmisor indicador LIT-04 e interruptor LSHH-05.

El LIT-04 envía la señal hacia el cuarto de control vía sistema de control, al controlador de nivel LIC-04. Este último instrumento, transmite la señal al controlador de flujo de gas ácido FIC-01 así como al controlador de agua de mar filtrada FIC-05. Con este control en "cascada" la generación de ácido sulfuroso, es decir; el suministro de gas ácido y agua de mar filtrada como materias primas, estará en función de la demanda del producto.

En adición, en el tablero principal se dispone de las alarmas LAL-04, LAH-04 y LAHH-04, las cuales son activadas por sus respectivos interruptores LSL-04, LSH-04 y LSHH-05.

Por otra parte, el interruptor local por muy alto nivel en FB-01, el LSHH-05; envía su señal de cierre a la válvula de agua de mar FV-05 y válvula de nivel LV-03 vía válvulas solenoides respectivas SV-14 y SV-12.

La condición de muy alto nivel en el tanque de almacenamiento FB-01, mantiene a la válvula de gas ácido en su flujo mínimo y la solución ácida en recirculación por cierre de las válvulas LV-03 y FV-05 antes mencionadas.

Para la distribución del ácido sulfuroso hacia los usuarios, se cuenta con las bombas centrífugas GA-02/R de las cuales, una opera mientras la otra permanece de relevo.

Con el fin de evitar daños a internos de estos equipos por posibles arrastres de material sólido, en la succión de cada unidad se tiene instalado un colador tipo

cónico, cuyo grado de limpieza podrá verificarse por medio de los indicadores de presión diferencial PDI-04 y PDI-05, respectivamente.

Ambas bombas descargan en el cabezal 4"-SA-12-PL2 de donde es distribuida a los usuarios. Esta línea cuenta con la derivación 2"-SA-13-1-PL2 que tiene instalada la placa de orificio FO-04, y representa la recirculación común de las bombas hacia el tanque de almacenamiento FB-01 para regular capacidades mínimas y máximas de solución requerida por el usuario.

Para la operación de estos equipos, se dispone de la siguiente estación local de botones:

BOMBAS	BOTONES		LUZ INDICADORA	
	ARRANQUE	PARO	ARRANQUE	PARO
GA-02	PB-13	PB-14	XL-13	XL-14
GA-02R	PB-15	PB-16	XL-15	XL-16

Tabla 3.5.

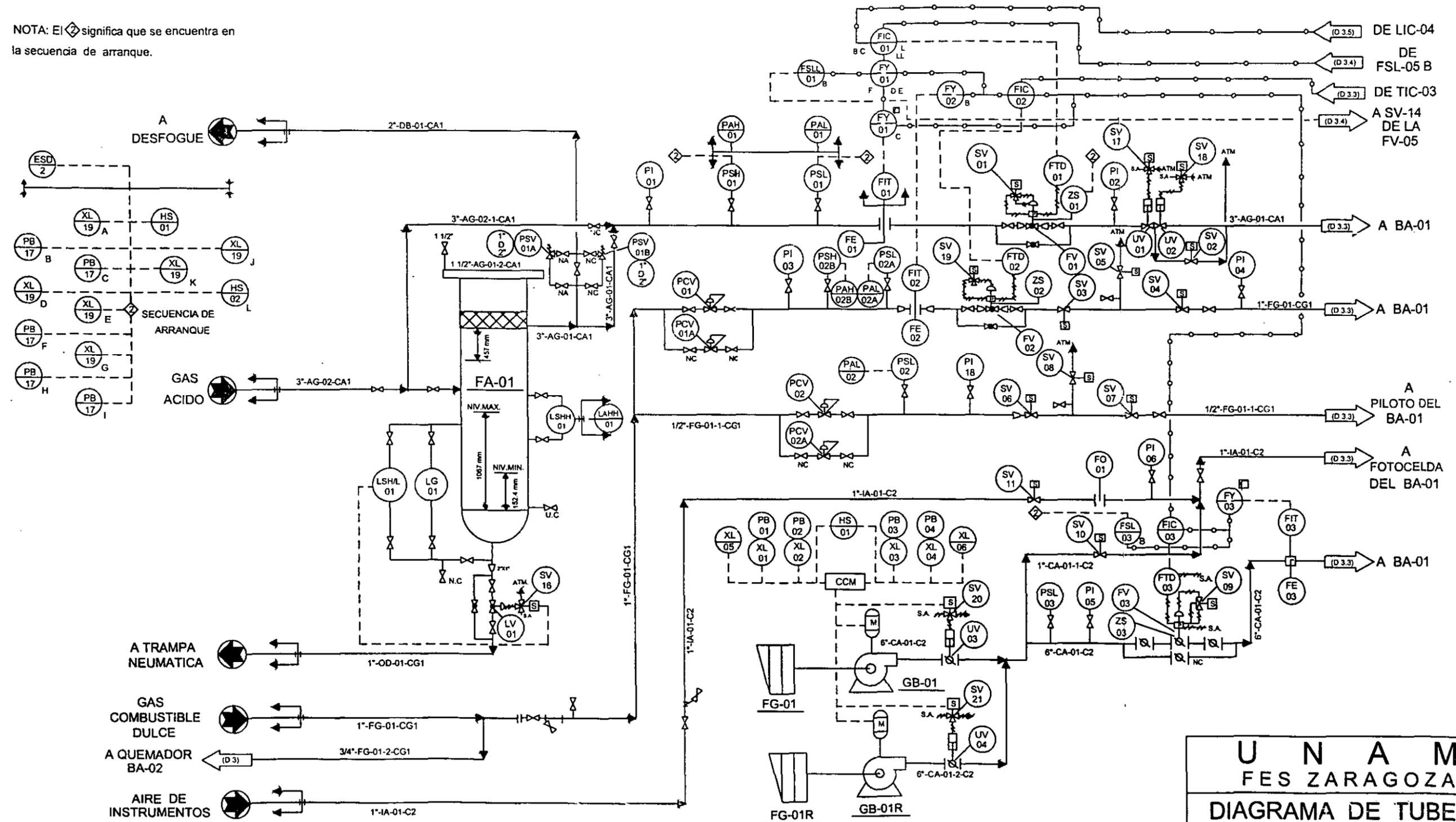
En adición a la estación local, en el cuarto de control se cuenta con la luz de "operando" XL-17 para la GA-02A y XL-18 correspondiente a la bomba GA-02R.

Por último, el tanque FB-01 tiene instalado un venteo de 6 pulgadas de diámetro, la línea de drene 3"-SA-14-2-PL1, así como el derramadero 6"-SA-15-1-PL1. Estas dos últimas líneas están conectadas al cabezal de drenajes con destino al mar.

CLAVE SERVICIO	FA-01
SEPARADOR DE GAS ACIDO	
DIAM.INT. PULG.	17.25
ALTURA LONG. FT	7.5
PRESION DISEÑO PSIG.	38.4
TEMP. DISEÑO °F	151

CLAVE SERVICIO	GB-01/R
SOPLADOR AIRE DE COMB.	
TIPO	CENTRIFUGO
CAPACIDAD Ft /min	588.2 @ 85 °F
PRESION DIFEREN., PSI	1.36
POTENCIA MOTOR HP	7.5

NOTA: El  $\diamond$  significa que se encuentra en la secuencia de arranque.



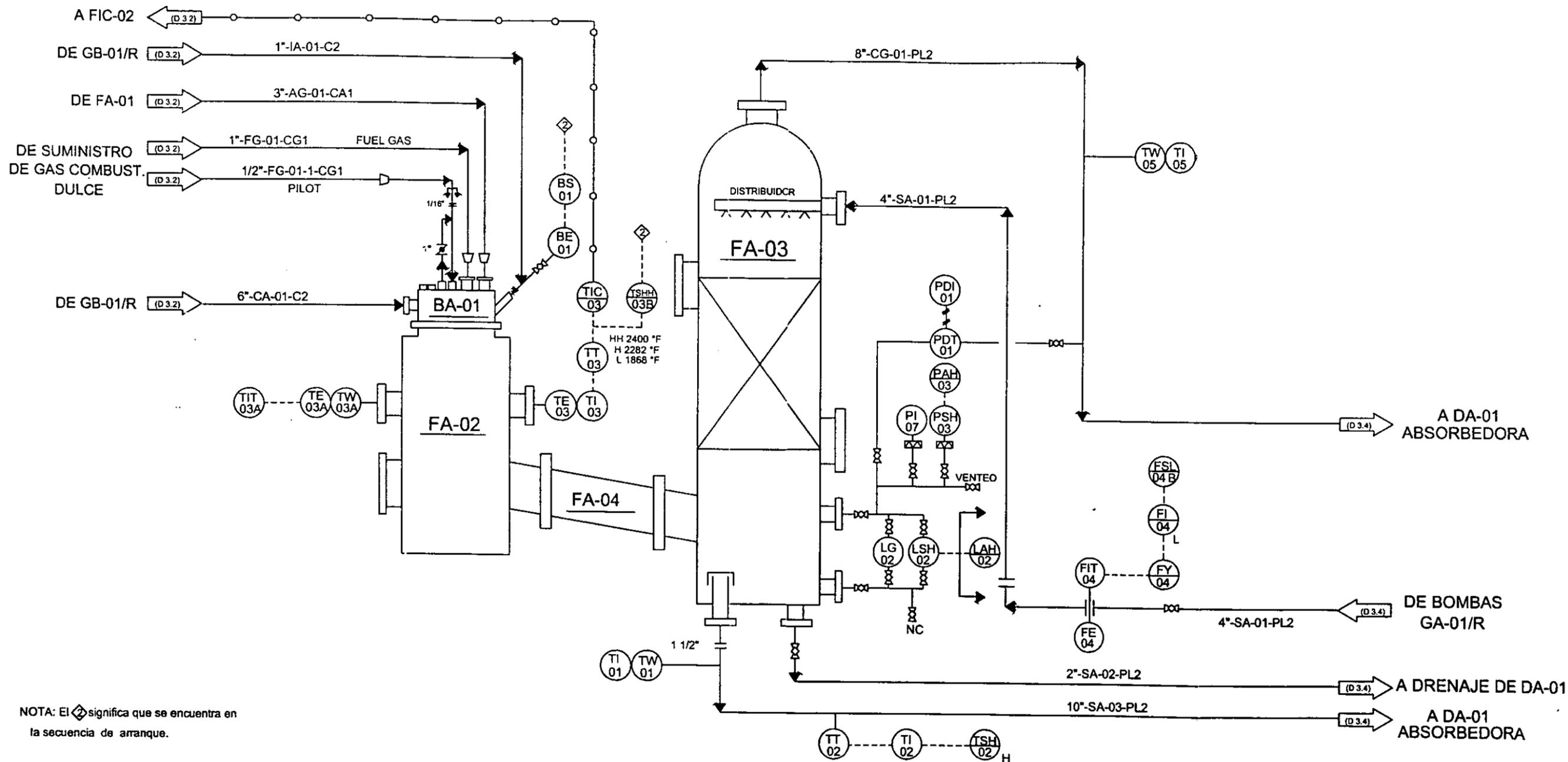
<b>U N A M</b>	
FES ZARAGOZA	
<b>DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION</b>	
SERVICIOS AUXILIARES PARA LA COMBUSTION	
D 3.2.	

CLAVE SERVICIO	BA-01 QUEMADOR DE GAS ACIDO
CAP. LBS/HR	661
CALOR LIB. MMBTU/HR	1.636
FLUJO AIRE Ft <sup>3</sup> /min	565.5 @ 68 °F
COMBUSTIBLE	GAS ACIDO- GAS COMB.

CLAVE SERVICIO	FA-02 CAMARA DE OXIDACION
DIAM.INT.CORAZA. Ft	2' -6 1/4"
ALTURA LONG. Ft	10'
PRESION DISEÑO, PSIG	2
TEMP.EXT.DISEÑO, °F	650
TEMP.EXT.OPERAC., °F	450

CLAVE SERVICIO	FA-04 DUCTO DE TRANSICION
DIAM.INT. Ft	1' -2"
LONGITUD. Ft	2'-9 7/8"

CLAVE SERVICIO	FA-03 CAMARA DE APAGADO
DIAM.INT.CORAZA. Ft	3' -1 7/2" - 9"
ALTURA LONG. Ft	18' - 8"
PRESION DISEÑO, PSIG	2
TEMP.EXT.DISEÑO, °F	300
TEMP.EXT.OPERAC., °F	175



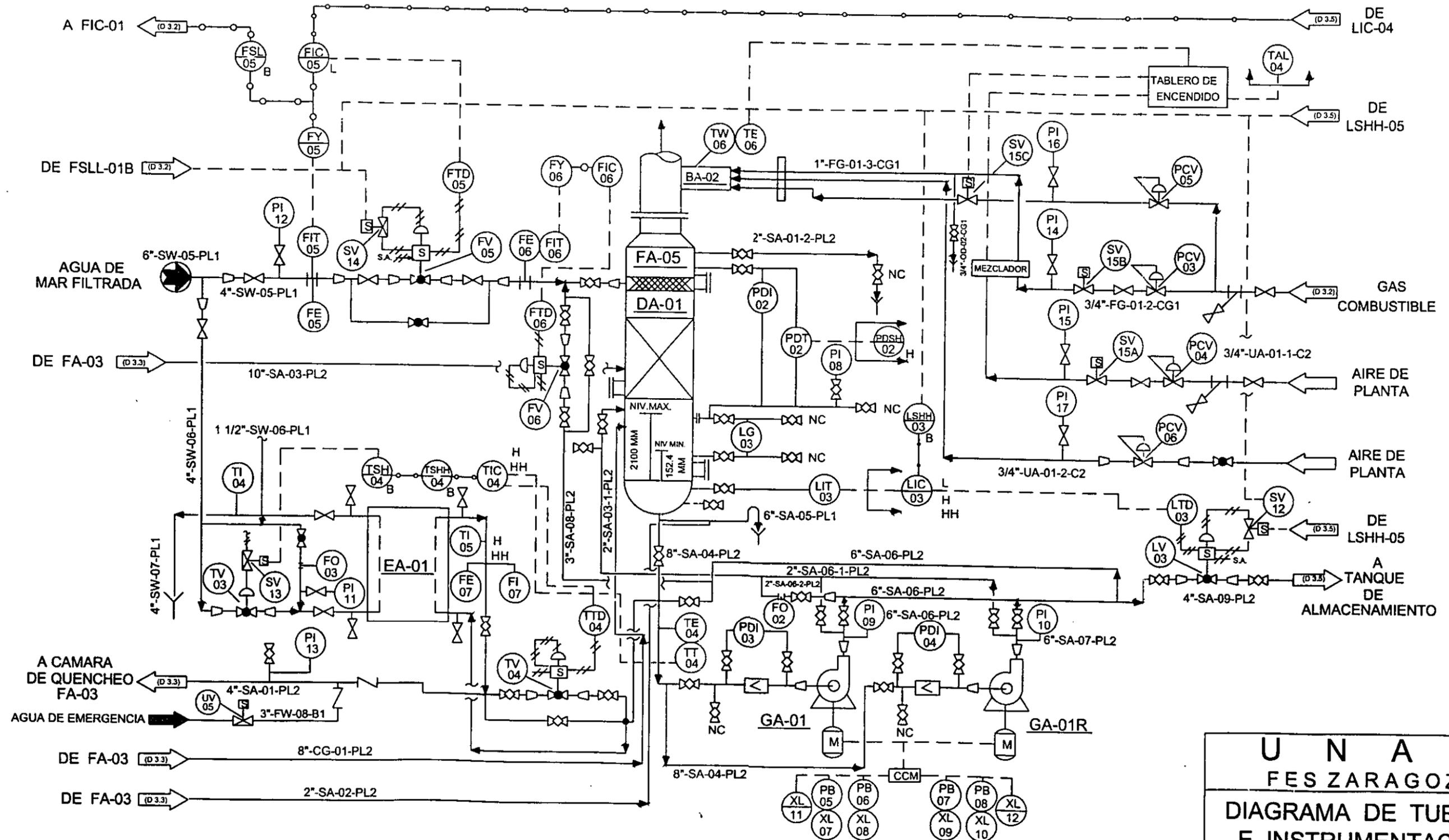
<b>U N A M</b>	
<b>FES ZARAGOZA</b>	
<b>DIAGRAMA DE TUBERIA</b>	
<b>E INSTRUMENTACION</b>	
<b>OXIDACION Y APAGADO</b>	
D 3.3.	

CLAVE SERVICIO	EA-01
ENFRIADOR DE SOLUCION	
CARGA TERM. BTU/HR	884,400
No. PLACAS	26
AREA Ft <sup>2</sup>	97
PRESION DISEÑO PSIG	100
TEMP. DISEÑO °F	176

CLAVE SERVICIO	DA-01	FA-05
TORRE ABSORBEDORA		CHIMENEA DE ABSORBEDORA
DIAM.INT. Ft	2.5	0.833
ALTURA LONG. Ft	38.99	20
PRESION DISEÑO, PSIG	30	0.2
TEMP.EXT.DISEÑO, °F	175	625

CLAVE SERVICIO	BA-02
QUEMADOR DE ABSORBEDORA	
CAP. MAX. BTU/HR	100,000
COMBUSTIBLE	GAS NATURAL
PRESION GAS PSIG	25
AIRE REQUERIDO Ft	15

CLAVE SERVICIO	GA-01/R
BOMBAS DE ABSORBEDORA	
TIPO	CENTRIFUGA
CAP.NORM. gpm	460
CABEZA Ft	110
POTENCIA MOTOR HP	30

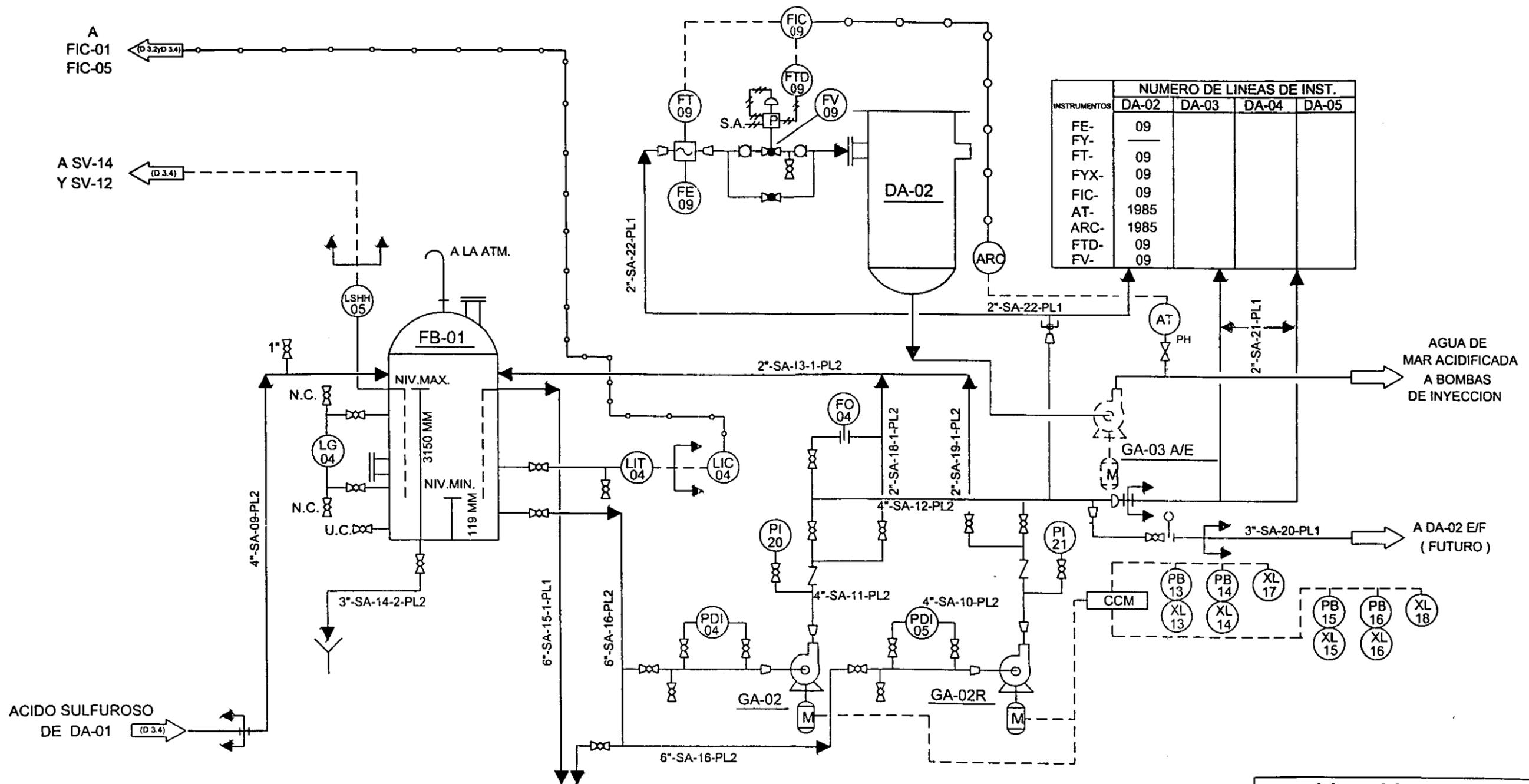


**U N A M**  
**FES ZARAGOZA**  
**DIAGRAMA DE TUBERIA**  
**E INSTRUMENTACION**  
 ABSORCION  
 D 3.4.

CLAVE SERVICIO	FB-01 TANQUE DE ALMTO.	DA-02 A-D TORRES DEAEERADORAS
DIAM.INT. Ft	9.18	13.5
ALTURA LONG. Ft	11.48	58
PRESION DISEÑO, PSIG	5	100
TEMP.DISEÑO, °F	176	150

CLAVE SERVICIO	GA-02 /R BOMBAS TANQUE ALMTO.	GA-03 A-E BOMBAS DE DEAEERADORAS
TIPO	CENTRIFUGA	
CAP.NORMAL gpm	100	7300
CABEZA Ft	65	509
POTENCIA MOTOR HP	7.5	1350

INSTRUMENTOS	NUMERO DE LINEAS DE INST.			
	DA-02	DA-03	DA-04	DA-05
FE-FY-	09			
FT-	09			
FYX-	09			
FIC-	09			
AT-	1985			
ARC-	1985			
FTD-	09			
FV-	09			



**U N A M**  
FES ZARAGOZA

**DIAGRAMA DE TUBERIA  
E INSTRUMENTACION**  
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION

D 3.5.

### 3.3. FILOSOFIA DE CONTROL

Debido a la naturaleza de los procesos involucrados para la generación de ácido sulfuroso y con el propósito de minimizar las atenciones del personal, la operación del paquete se efectúa mediante un sistema totalmente automático.

El paquete ha sido diseñado para la generación constante de una solución de ácido sulfuroso a la concentración de 0.5 a 0.8 % en peso (en base a  $\text{SO}_2$ ) para el tratamiento mínimo de 0.25 MMBPD de agua de mar y un máximo de 1 MMBPD.

Considerando que los requerimientos para la acidificación del agua de mar son constantes, por el hecho de que la disminución del pH es controlada de 8.2 a 6.8-7.2, la cantidad de ácido a generar está prácticamente en función del flujo de agua de mar a tratar, es decir; de la cuota de agua de inyección.

Con estas consideraciones la generación del producto y la estabilidad del paquete depende únicamente del sistema de control. Esto último, es razonablemente posible siempre y cuando las condiciones de suministro del gas ácido, el aire de combustión, el gas combustible y el agua de mar filtrada, como materias primas; permanezcan bien relacionadas a proporciones adecuadas.

#### ➤ CONTROL DE LA RELACIÓN DE AIRE DE COMBUSTIÓN / GAS ÁCIDO

De acuerdo a los análisis de muestras tomadas, se ha determinado que las variaciones en la concentración de los hidrocarburos en el gas ácido son responsables de la considerable inestabilidad con respecto a la operación del paquete. La relación aire de combustión / gas ácido debe mantenerse como se diseño. Sí llegaran a existir variaciones, algunas consecuencias resultarían ser:

- ◆ Considerable variación de la temperatura en la cámara de oxidación, reduciendo así la vida útil del material refractario.
- ◆ Paro automático de la cámara de oxidación por alta temperatura.
- ◆ Alto riesgo de producción de azufre en los equipos, tapando el empaque en la torre de apagado, torre absorbedora y los coladores de las bombas del fondo de la absorbedora GA-01 / R.

➤ *CONTROL DE TEMPERATURA DE LA CÁMARA DE OXIDACIÓN UTILIZANDO GAS COMBUSTIBLE*

Para mantener la temperatura en la cámara de oxidación, primeramente durante la condición "stand-by", se cuenta con un control de temperatura en el control de flujo de gas combustible hacia el quemador principal, este controlador TIC-03 incrementa el flujo de gas combustible a fin de elevar la temperatura. Si el gas ácido es removido repentinamente por los permisivos, el flujo de gas combustible se incrementa a fin de mantener la temperatura en la cámara de oxidación.

El controlador de temperatura también permite que el curado de la cámara de oxidación se controle automáticamente. Una vez que se haya encendido el quemador principal, el operador en el cuarto de control simplemente cambia el punto de ajuste del controlador TIC-03, cada vez que se requiera el próximo incremento de temperatura en la cámara de oxidación.

➤ *CONTROL DE FLUJO DE GAS ÁCIDO POR MEDIO DEL NIVEL EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO*

De manera muy general se puede decir que el control de generación de ácido sulfuroso está gobernado por el controlador de nivel en el tanque de almacenamiento. Las fluctuaciones en el nivel del tanque FB-01 se perciben por el controlador de dicha variable, quien ajusta los suministros correspondientes de gas ácido y agua de mar filtrada.

Si durante la operación normal se presentase una demanda mayor de ácido sulfuroso, lo cual se refleja en la disminución del nivel en el tanque FB-01, el controlador ajustará automáticamente el incremento correspondiente en los suministros de agua de mar filtrada hacia la torre absorbidora DA-01, y gas ácido al quemador BA-01. En forma simultánea, el aire de combustión se ajusta de acuerdo a la estequiometría de la combustión del gas ácido.

En caso contrario, si los requerimientos del producto disminuyen, el nivel en el tanque FB-01 aumenta, por lo que el controlador de dicha variable ajustará automáticamente la disminución proporcional en los suministros de gas ácido, aire de combustión y agua de mar filtrada.

Por otra parte, si por alguna razón la demanda de la solución de ácido sulfuroso se suspende, el nivel en el tanque FB-01 se incrementará considerablemente, el interruptor por muy alto nivel suspenderá la generación del producto ya que dicho instrumento enviará su señal de cierre a la válvula de nivel en la absorbidora y válvula de flujo en suministro de agua de mar, cuyo interruptor por muy bajo flujo enviará su señal de corte al suministro de gas ácido.

Sin embargo, esto no quiere decir que habrá un paro total del paquete, puesto que la solución ácida de apagado permanece en recirculación y el quemador de gas combustible debe operarse a un flujo mínimo para mantener la temperatura normal de operación en la cámara de oxidación FA-02 (la cual no debe ser menor a 1868 °F), y proteger el material refractario; antes de reiniciar la operación del quemador de gas ácido (operación del paquete). Este flujo mínimo de gas combustible es mantenido por el controlador de temperatura TIC-03.

En cualquiera de los casos antes mencionados debe aclararse lo siguiente:

- 1.- El piloto se mantiene encendido
- 2.- Si se espera un paro, o la interrupción en el suministro de gas ácido, por un período de 48 horas o menos, el paquete de ácido sulfuroso debe ser mantenido en condición de "stand-by" y por encima de los 1868 °F por medio del encendido del quemador de gas principal. La temperatura se controla automáticamente por el controlador TIC-03.
- 3.- Sí se espera que el paquete esté fuera de operación por un período de 48 horas, la cámara de oxidación debe ser enfriada gradualmente.
- 4.- Sí durante un paro requerido, es necesario la suspensión de la recirculación en la torre de apagado, la cámara de oxidación debe enfriarse a razón de 140 °F /hr o menor manteniendo la recirculación. Este enfriamiento se alcanza al reducir gradualmente la alimentación de gas combustible a un mínimo, y al incrementar el suministro de aire de combustión dejando solamente el quemador del piloto en servicio. Al alcanzar la temperatura de 320 °F, el quemador del piloto se pone fuera de servicio. Este enfriamiento gradual minimiza el riesgo de daños al material refractario.
- 5.- Al experimentar pérdida de energía eléctrica o de recirculación en la torre de apagado, los sopladores GB-01/R se detienen, y la cámara de oxidación se enfría por medio de pérdidas al ambiente. Se mantiene un barrido ligero con aire de instrumentación a través de la válvula SV-11 para proveer una presión positiva en la cámara de oxidación. Al restablecer la operación de los sopladores, el material refractario comenzará a enfriarse rápidamente, por lo cual debe iniciarse inmediatamente la secuencia de encendido del piloto. Una vez encendido el piloto, la cámara de oxidación debe ser llevada inmediatamente a la temperatura alcanzada antes de reiniciar la operación de los sopladores.
- 6.- El aire de combustión debe suministrarse de manera estequiométrica, incluyendo el exceso, esto es para la combustión adecuada del gas combustible y/o gas ácido.

7.- Durante la operación normal con gas ácido, el gas combustible se mantiene a un flujo mínimo de 0.29 Ft<sup>3</sup>/hr. Esto permite la reacción inmediata del controlador TIC-03 para dirigir el gas combustible a la cámara de oxidación y mantener la temperatura en la misma que en el evento de pérdida de gas ácido. A menos que la temperatura de la cámara de oxidación caiga por debajo de los 1931 °F, el flujo de gas combustible no debe exceder el mínimo. El consumo de gas combustible por encima del mínimo requiere aire de combustión adicional lo cual reduce la capacidad de gas ácido del paquete.

8.- La solución ácida de apagado debe permanecer constantemente en recirculación hacia la cámara FA-03 con un flujo de 200 gpm.

9.- Por conveniencia; durante la operación del paquete o en caso "stand-by" (recirculación), el quemador BA-02 debe permanecer operando.

### 3.4. RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD

En este punto se mencionan las adaptaciones necesarias efectuadas al diseño original, para lograr un mayor rendimiento y flexibilidad con el propósito de mantener continua la operación del paquete ácido sulfuroso.

#### 3.4.1. Rendimiento

El rendimiento total del paquete se logra cuando el producto se obtiene sin interrupción, a las especificaciones previamente establecidas, una vez que han sido desarrollados los procedimientos de preparación y operación recomendados por el fabricante, considerando que el paquete opera todos los días del año.

A continuación se describe en términos generales las adaptaciones efectuadas con el objeto de lograr un mayor rendimiento del paquete:

#### 1. DISEÑO DEL SISTEMA OXIDACION / APAGADO

a) La cámara de oxidación FA-02 donde se efectúa la combustión del gas ácido, ha sido diseñada bajo el concepto de un cuerpo caliente y seco. La temperatura interna y los materiales refractarios fueron instalados para ambiente ácido y arrojan una temperatura máxima externa de 650 °F, con lo cual se evita la condensación que pudiera ocurrir en la pared interna del recipiente a causa de cualquier penetración de gas a través del material refractario.

b) La cámara de apagado FA-03 donde se enfrían los gases de combustión fue diseñada para las condiciones establecidas, habiéndose seleccionado los materiales refractarios para ambiente húmedo, frío y ácido.

- c) El ducto de transición FA-04, el cual comunica a las cámaras de oxidación y apagado, fue diseñado para una velocidad de los gases relativamente alta, con el propósito de evitar un contraflujo de humedad que pudiera dañar el material refractario instalado en dicho ducto.
- d) Los materiales de construcción del quemador de gas BA-01 fueron seleccionados cuidadosamente para evitar la corrosión y/o daños por temperatura.
- e) En la cámara de oxidación y ducto de transición fueron instaladas juntas de expansión apropiadas, para absorber aquellas pequeñas expansiones por temperatura que pudieran ocurrir.
- f) Con el propósito de evitar el fenómeno de corrosión en los internos de la cámara, todos ellos fueron fabricados con material no metálico, excepto la prolongación interna de la boquilla.
- g) Todo el anclaje para el material refractario es de acero inoxidable, habiéndose aplicado de manera adicional un material anticorrosivo antes de su instalación.

## 2. MANEJO DE LA SOLUCION DE ACIDO SULFUROSO

- a) Las bombas de recirculación GA-01 /R y las de distribución GA-02 /R están recubiertas internamente con teflón para disminuir la corrosión.
- b) Todas las válvulas manuales están recubiertas internamente con teflón para disminuir la corrosión.
- c) Con el propósito de evitar posibles arrastres de material sólido (refractario, anillos de cerámica, etc.), en la solución ácida que pudiera afectar las bombas GA-01/R, la boquilla de salida fue diseñada con una prolongación interna a manera de vertedero.
- d) Para reforzar lo mencionado en el punto anterior, los coladores instalados en la succión de bombas GA-01/R son de tipo cónico. El mismo criterio se aplicó en las bombas GA-02/R.
- e) Con el propósito de evitar el fenómeno de cavitación por falta de succión en las bombas, cada uno de los coladores cónicos tiene instalado un indicador de presión diferencial como instrumento para supervisar el grado de ensuciamiento de dichos coladores.

### 3. MONITOREO DE PRESION

- a) La válvula controladora de presión PCV-01 suministra el gas combustible al quemador y tiene internos metal-neopreno para asegurar el sello.
- b) La válvula controladora de presión PCV-02, que suministra gas combustible al piloto tiene internos metal-neopreno para asegurar el sello.
- c) La línea provisional para el suministro de aire de combustión al quemador BA-02 incluye indicación y control de presión, así como válvula de bloqueo.

### 4. MONITOREO DE TEMPERATURA

- a) Las cámaras de oxidación y apagado contemplan las preparaciones para el monitoreo de la temperatura externa de los recipientes, habiéndose adquirido el instrumento local para dicho propósito.

#### 3.4.2. Flexibilidad

Cualquier alternativa adicional disponible para la ejecución de alguna actividad, representa cierto grado de flexibilidad.

Siendo la flexibilidad y la disponibilidad del refaccionamiento necesario, los factores principales que permiten continuidad en la operación, se han considerado las siguientes instalaciones adicionales:

#### 1. SUMINISTRO DE GAS COMBUSTIBLE

- a) Instalación de "by-pass" (directo) a válvula de flujo FV-02.
- b) Instalación en paralelo y como relevo de la válvula controladora de presión PCV-01, la válvula de las mismas características PCV-01A.
- c) Instalación en paralelo y como relevo de la válvula controladora de presión PCV-02, la válvula de las mismas características PCV-02A.

#### 2. MONITOREO DE TEMPERATURA

- a) Instalación del instrumento local TIT-03A, en la cámara de oxidación FA-02.

---



**CAPITULO 4**  
**PROCEDIMIENTOS DE**  
**ARRANQUE Y PARO**

## 4.1. PRE-ARRANQUE

El pre-arranque se considera como el trabajo requerido para preparar las actividades de arranque inicial y de operación.

En este capítulo se presentan los métodos generales para la limpieza, prueba de líneas, recipientes, equipo mecánico, eléctrico, etc.

### 4.1.1. Revisión general

Esta actividad tiene como objetivo, comprobar que el paquete se encuentre totalmente terminado y que durante su construcción se haya cumplido con todas las especificaciones previamente establecidas. Se debe verificar también el cumplimiento de los cambios y modificaciones acordadas y que no existan faltantes de equipos, líneas, instrumentación, etc.

#### *Inspección del equipo*

La inspección se refiere a la revisión final y detallada del equipo, una vez que se concluye con la fase de construcción. Para tal propósito, el personal asignado debe auxiliarse con toda la información necesaria, tal como, hojas de datos, dibujos mecánicos, especificaciones y diagramas.

En orden y para minimizar el tiempo de inspección, como una sugerencia general se debe revisar lo siguiente:

#### ➤ Inspección externa

- ◆ Cimentación
- ◆ Anclaje y soportería
- ◆ Plataformas
- ◆ Escalera y pasamanos
- ◆ Aislamiento
- ◆ Conexiones a tierra
- ◆ Pintura
- ◆ Boquillas
- ◆ Registros - hombre
- ◆ Vidrios de nivel

➤ Inspección interna

- ◆ Material refractario
- ◆ Recubrimiento
- ◆ Lecho empacado
- ◆ Equipo auxiliar (platos de soporte, mamparas, platos distribuidores, flotadores, mallas separadoras, etc.).

#### 4.1.2. Lavado de equipo

El lavado se efectúa dividiendo las instalaciones del paquete en circuitos. Se introduce agua potable de preferencia con una presión suficiente, por los puntos altos y se drena por los puntos bajos con bridas suficientemente separadas o válvulas totalmente abiertas. Todos los equipos que sean susceptibles a esta actividad, deben limpiarse para eliminar los residuos de la construcción y otros materiales extraños.

Antes del lavado es necesario abrir los venteos del domo de los recipientes y torres, y al mismo tiempo desconectar las líneas de succión de bombas, cubriendo sus boquillas de entrada y salida con piezas de lámina o juntas ciegas para evitar que entren a ellos materiales extraños.

Todas las placas de orificio deben retirarse de las tuberías. Es necesario desmontar las válvulas de control o en su defecto, desbridarse del lado de la tubería que se va a lavar, cubriendo su propia brida con una pieza de lámina.

Cuando se haya comprobado que la tubería antes de alguna válvula automática ya está limpia, conectar nuevamente la válvula y proseguir el lavado corriente abajo de esta.

El mismo procedimiento debe seguirse para los cambiadores de calor. Para llevar a cabo el lavado, también deben llenarse las columnas y recipientes con agua y lavar con ella la tubería conectada a tales equipos. Todas las líneas que no puedan limpiarse por drenado de recipientes, deben lavarse individualmente mediante mangueras conectadas a sus válvulas de venteo o drene.

Siempre que sea posible, es conveniente utilizar las bombas de la propia instalación para mover el agua de lavado, teniendo la precaución de haber limpiado previamente las líneas de succión y de haber colocado a estas, coladeras de malla fina para retener materiales extraños. Antes de efectuar el drenado de los equipos, verificar que se encuentren abiertos los venteos de los mismos para evitar su colapso. Después de haber efectuado el lavado de las diferentes instalaciones del paquete, debe drenarse perfectamente el equipo, retirar las coladeras de malla fina, colocando las especificadas y reinstalar las placas de orificio, válvulas de control y demás aditamentos de tubería.

Cabe mencionar que tanto la cámara de combustión como el ducto de transición son probados antes de colocarles el material refractario y las pruebas que se les realizan son como a cualquier otro recipiente.

#### 4.1.3. Pruebas hidrostáticas y neumáticas

Las pruebas hidrostáticas tienen como objetivo comprobar la resistencia de los materiales y las soldaduras, así como de descubrir fugas entre bridas y conexiones. En este punto se dan algunas de las recomendaciones señaladas por los estándares, para llevar a cabo pruebas hidrostáticas de líneas y equipos. Si se desea, pueden consultarse códigos específicos para tal efecto, como son:

- Código ANSI B-31.1 pruebas de presión en líneas para agua.
- Código ANSI B-31.2 pruebas de presión en tuberías para aire y gas.

También se pueden consultar los códigos ASME Sección VIII División 1, y los ASTM para pruebas hidrostáticas en recipientes.

En términos generales, los lineamientos que se deben seguir al realizar las pruebas de presión, son los siguientes:

- ◆ Las pruebas de presión se llevan a cabo dividiendo las instalaciones del paquete en circuitos que trabajen a condiciones de operación y pruebas semejantes, pudiendo ser probados todos los elementos al mismo tiempo. (A excepción de válvulas de control o válvulas de corte que previamente han sido probadas en campo).
- ◆ La presión de prueba de un sistema separado debe basarse en las presiones de prueba máximas y mínimas que marque el fabricante.
- ◆ Para tuberías, la presión de prueba debe ser 1.5 veces la presión de diseño.
- ◆ Para recipientes, la presión de prueba será la especificada por el diseño.
- ◆ Deben bloquearse los manómetros en donde la presión de prueba sea superior a su rango.
- ◆ Todos los equipos bajo prueba deben tener abiertos los venteos durante la etapa de llenado para desalojar el aire que puedan tener.
- ◆ Un sistema lleno con agua, nunca debe drenarse antes de abrir los venteos.
- ◆ La prueba hidrostática no debe efectuarse en líneas y equipos, si el agua está a una temperatura menor de 60 °F.

- ◆ Para los sistemas de agua de mar, agua potable, aire de instrumentos, las pruebas pueden efectuarse con los fluidos de trabajo normales.
- ◆ Es de suma importancia llevar un registro o control de las juntas ciegas que se coloquen, para poder controlar la remoción de todas ellas al finalizar las pruebas.
- ◆ La presión de prueba debe mantenerse 10 minutos como mínimo de acuerdo al código establecido y si el sistema va a permanecer presionado por varias horas, deben tomarse precauciones respecto a la expansión que pueda sufrir el líquido de prueba con los cambios de temperatura.

Cuando la prueba hidrostática no pueda llevarse a cabo, por impráctica o porque los recipientes no pueden ser llenados en forma segura, entonces se puede realizar una prueba neumática, usando para este caso aire.

Cualquier prueba neumática deberá realizarse preliminarmente a no más de 25 psi para localizar fugas. La presión de prueba neumática debe ser 1.25 veces la presión de diseño.

#### 4.1.4. Pruebas de hermeticidad

La finalidad de esta prueba es verificar el apriete adecuado de todas las bridas que no estuvieron sujetas a la prueba hidrostática, en virtud de haber servido como elementos iniciales o finales en un circuito de prueba determinado.

Se deben comprobar también los estoperos de válvulas automáticas y manuales, las conexiones de manómetros e indicadores de presión diferencial que fueron bloqueados durante las pruebas y las bridas de asiento de las válvulas de seguridad.

El procedimiento que generalmente se utiliza para detectar fugas, es el de emplear cinta adhesiva que se coloca alrededor de las bridas, practicando a continuación un pequeño orificio en la parte superior de la cinta. La aplicación de jabonadura en la perforación, permite observar la existencia de fugas a través del empaque de bridas.

Otro procedimiento alternativo consiste en emplear un equipo de aspersión manual portátil como el que se utiliza para la aplicación de insecticida. El tanque del mismo se llena con una solución, vigilándose la aparición de burbujas alrededor de las bridas.

#### 4.1.5. Preparación de equipo eléctrico

Se debe efectuar la inspección de todo equipo eléctrico para asegurar de manera satisfactoria el buen funcionamiento del equipo, con las especificaciones, dibujos, códigos y requerimientos de fabricación y montaje en particular. En general, esta

actividad asegura junto con la continuidad de aislamiento de los conductores una tensión satisfactoria de trabajo y cierto grado de seguridad. Hasta donde sea posible las pruebas e inspección deben realizarse inmediatamente antes de que el equipo sea energizado. En términos generales, debe efectuarse lo siguiente:

- ◆ Todos los conductores de fuerza desde el interruptor del centro de control de motores (CCM) hasta el equipo, deben estar completamente instalados y probados.
- ◆ Las interconexiones de conductores de control e instrumentos entre cajas de conexión y fuentes de suministro, deben probarse para su continuidad y operación.
- ◆ Todos los conductores deben ser probados para medir su nivel de aislamiento.
- ◆ Los circuitos deben ser revisados para verificar su continuidad.
- ◆ Verificar que las conexiones a tierra se encuentren completas.
- ◆ Verificar el nivel aceptable de aislamiento.
- ◆ Examinar los rodamientos según se requiera por evidencias de corrosión, salinidad, vibraciones estáticas o perjuicios por otras causas.
- ◆ Todos los sistemas de lubricación de rodamientos deben examinarse para asegurar que reciban lubricación en forma satisfactoria.
- ◆ Los motores deben ser lubricados con el aditivo recomendado por el fabricante o uno similar.
- ◆ Todos los motores sujetos a prueba, deberán estar desacoplados del equipo con el fin de verificar la dirección correcta de rotación con respecto al impulsor.
- ◆ Revisar los relevadores y la continuidad del sistema de protección y control.
- ◆ Probar el arrancador y el circuito de control.
- ◆ Proseguir con la prueba del motor, el cual debe operar durante un periodo de 4 horas, o un tiempo más corto para motores pequeños.

#### 4.1.6. Comprobación de circuitos de control e instrumentos

Dado a que esta es una de las actividades más extensivas y que además requiere de un tiempo considerable, esta debe efectuarse en base a un programa el cual incluirá lo siguiente:

- ◆ Verificar que toda la instrumentación este completa.
- ◆ Revisar que los instrumentos fueron fabricados con material contra ambiente marino (tropicalizados) y que los rangos de los mismos, son los adecuados.
- ◆ Verificar que la instalación de los instrumentos se haya efectuado de acuerdo a los típicos de instalación.
- ◆ Comprobar que las conexiones de los instrumentos al proceso estén completas. Esto incluye termopares, tomas de placas de orificio, etc.
- ◆ Todas las válvulas deben ser revisadas para asegurar que se encuentran instaladas correctamente con respecto a la dirección del flujo y que el vástago no esté inclinado o restringido para su rango de recorrido.
- ◆ Elaborar un registro que muestre el número del instrumento, su calibración, así como su control.
- ◆ Verificar que todo el alambrado de control esté completo y comprobar su continuidad y aislamiento.
- ◆ Revisar que toda la tubería de aire de instrumentos se encuentre completa.
- ◆ Desconectar las líneas de aire de instrumentos y efectuar el barrido de las mismas y posteriormente conectarlas adecuadamente.
- ◆ Energizar las válvulas solenoides para comprobar su operación correcta.
- ◆ Calibrar todos y cada uno de los instrumentos de supervisión, control y protección.
- ◆ La calibración de toda la instrumentación debe ser lo más exacta posible.
- ◆ Todas las válvulas de relevo de presión deben probarse y ajustarse dentro de un periodo menor de 30 días antes de la operación.

*Todas las válvulas de control deben ser revisadas para asegurarse que:*

1. Se encuentran instaladas en la línea correctamente con respecto a la dirección del flujo.
2. Que la acción de la válvula a falla de aire sea la correcta.
3. Que el interruptor de límite haya logrado el cierre o apertura adecuada, con respecto a la acción de la válvula.
4. El golpe de cierre o apertura de la válvula sea suave, y el empaque sea el adecuado.
5. Comprobar que su posicionador sea el adecuado y correctamente calibrado en su rango de operación.
6. Que la válvula responda correctamente de acuerdo a la señal de control.
7. Revisar la continuidad de la señal de control y observar la acción de la válvula automática.
8. Que los ajustes de todos los modos de control (banda proporcional, reajuste y relación); se encuentren en sus valores adecuados.
9. Los puntos de ajuste de todas las alarmas e interruptores deben ser muy precisos y después deben ser probados varias veces para conocer su exactitud.
10. Revisar la operabilidad de los sistemas de emergencia para la instrumentación.

#### 4.1.7. Corrida inicial de bombas

Se debe establecer la seguridad del equipo asociada a cada sistema antes del arranque. La propia instalación y operación de las bombas es esencial para la confianza del operador.

- ◆ Las bombas y sus accionadores deben correrse inicialmente con el máximo de cuidados.
- ◆ Generalmente, la primera corrida se hace manejando agua con ellas, tal como ocurre al efectuar el lavado de equipos y tuberías.
- ◆ Durante la etapa, las coladeras instaladas en la succión pueden causar restricción al flujo, debido a los materiales extraños que se retienen en ellas.

- ◆ Antes de arrancar una bomba, verificar que el motor se ha revisado, que su corrida inicial se haya aprobado satisfactoriamente y que el último lineamiento haya sido aceptable. Durante el arranque de una bomba centrífuga, la válvula de succión debe estar completamente abierta, mientras que la de descarga cerrada o ligeramente abierta para minimizar la corriente.

*A continuación se mencionan las revisiones que deben efectuarse antes de la corrida de bombas:*

- 1.- Que la instalación sea la correcta.
- 2.- Verificar que la bomba y su impulsor han sido alineados en forma apropiada para evitar algún sobre-esfuerzo o daño.
- 3.- Que su motor ha sido revisado y que la dirección de rotación es la correcta con referencia a la bomba.
- 4.- Verificar que toda la tubería del sistema de enfriamiento esté conectada a las chaquetas de los rodamientos, sellos de lavado, etc.
- 5.- Verificar que los coladores han sido instalados en succión de la bomba.
- 6.- Que los rodamientos y flechas se encuentren limpios después de su lubricación final.
- 7.- Rotar la bomba y el accionador con la mano para verificar que ambos giran libremente.
- 8.- Revisar que los circuitos de suministro y entrega de agua para su corrida inicial estén alineados.
- 9.- Abrir completamente la válvula de succión.
- 10.- Ventear la tubería y la bomba en caso de que ésta esté completamente llena con líquido.
- 11.- Verificar que el suministro eléctrico desde la fuente hasta el arrancador, haya sido probado satisfactoriamente.

#### 4.1.8. Corrida inicial de sopladores

La siguiente, es una lista para la preparación de sopladores de aire antes de su corrida inicial.

- ◆ Verificar que la instalación sea la correcta.
- ◆ Revisar que los filtros de succión de aire se hayan instalado y se encuentren limpios.
- ◆ Verificar el buen alineamiento del soplador.
- ◆ Verificar que el motor haya sido revisado y su rodaje es satisfactorio, libre de anclaje y que la dirección de rotación sea la correcta.
- ◆ Revisar que los controles, alarmas y disparos sean los apropiados y que estén calibrados adecuadamente.

*A continuación se mencionan las revisiones que deben efectuarse durante la corrida inicial de sopladores:*

- 1.- Abrir la válvula de descarga del soplador.
- 2.- Revisar el suministro eléctrico desde la fuente hasta el arrancador.
- 3.- Poner en operación el soplador y revisar el motor para verificar algún ruido anormal, vibración, temperatura.
- 4.- Verificar el comportamiento del soplador con respecto a la curva proporcionada por el fabricante.

#### 4.1.9. Ajuste de flujos mínimos

##### ➤ *Flujo mínimo de aire de combustión*

El flujo mínimo de aire de combustión, es el flujo requerido para el encendido del piloto, el cual debe ajustarse de la siguiente manera:

- a) Cerrar el By-Pass de la válvula de aire de combustión FV-03.
- b) Colocar el controlador indicador de flujo FIC-03, en posición “manual”.

- c) Operar el soplador GB-01 o GB-01R en forma manual a través de la estación local de botones.
- d) Abrir lentamente la válvula FV-03 desde el cuarto de control hasta que el flujo de aire alcance un valor de  $58.8 - 76.5 \text{ Ft}^3/\text{min}$ , a condiciones normales.
- e) Una vez logrado el flujo mencionado en (d), fijar el tope mecánico de la válvula FV-03.
- f) Pasar el controlador indicador de flujo FIC-03, a la posición "automático".

➤ *Flujo mínimo de gas combustible*

El flujo mínimo de gas combustible, es el requerido para proporcionar la carga térmica adicional de  $200,000 \text{ BTU / hr}$  a la cámara de oxidación FA-02 y debe ajustarse de la siguiente manera:

- a) Ajustar el tope mínimo de la válvula FV-02 en un 5 % de apertura. Así mismo verificar que el interruptor de límite ZS-02, se encuentre ajustado a esta posición.
- b) Una vez que el quemador de gas combustible se encuentre operando, observar que el flujo de gas a través de la válvula FV-02 sea de  $0.29 - 1.17 \text{ Ft}^3/\text{min}$  a condiciones normales.
- c) En caso de no obtener el flujo mínimo de gas combustible mencionado en el punto (b), efectuar los ajustes necesarios de apertura de la válvula FV-02.

➤ *Flujo mínimo de gas ácido*

El flujo mínimo de gas ácido, es el requerido para mantener estable la flama del quemador BA-01, y corresponde al 8 % de su capacidad máxima ( $107 \text{ Ft}^3/\text{min}$  en condiciones estándar) y se debe ajustar de la siguiente manera:

- a) Ajustar el tope mínimo de la válvula FV-01 en un 5 % de apertura. Así mismo, verificar que el interruptor de límite ZS-01 se encuentre ajustado en esta posición.
- b) Cuando el quemador de gas ácido BA-01 se encuentre encendido, revisar que el flujo en el transmisor local FIT-01 o FIC-01 en el cuarto de control sea de  $8.82 \text{ Ft}^3/\text{min}$  a condiciones normales.
- c) En caso de obtener un flujo diferente al mencionado en el punto (b), efectuar los ajustes necesarios en la válvula FV-01 y en el interruptor de límite ZS-01.

#### 4.1.10. Pruebas a quemadores

Como los quemadores que se emplean en este proceso se encuentran montados sobre equipos con características similares a los recipientes, las pruebas que se les realizan se hacen antes de montarlos sobre tal equipo, es decir sus pruebas se hacen en la fabrica, y debido a que estos quemadores se encuentran constituidos por un conjunto de tuberías. A este tipo de sistema se le hacen las pruebas propias de presión para tuberías que manejan aire y gas, esto es de acuerdo a los estándares.

#### 4.1.11. Prueba de encendido del piloto en quemador de gas ácido

Con anticipación y antes de iniciar el calentamiento gradual del material refractario, se recomienda asegurar el encendido del piloto del quemador de gas ácido BA-01, el cual es efectuado automáticamente mediante un programador localizado en el tablero de control local.

Para tal propósito, en esta parte se describen las actividades a realizar como son los preparativos, y el procedimiento que el operador debe desarrollar para la prueba de encendido del piloto.

##### ◆ *Preparativos*

- a) Drenar la línea de gas combustible 1"-FG-01-CG1 hacia el quemador de gas ácido BA-01, para eliminar los condensados que pudieran haberse formado.
- b) Drenar la línea de aire de instrumentos 1"IA-01-C2 a fotocelda, para desalojar los condensados y alinear el servicio verificando que el manómetro PI-06 indique 3 psig.
- c) Alinear el gas combustible a piloto del quemador BA-01, verificando a través del indicador PI-18, que el ajuste de la válvula reguladora PCV-02 o la PCV-02A; sea de 3.5 psig.

##### ◆ *Procedimiento de encendido*

- a) Colocar el selector de sopladores HS-01, hacia uno de los dos, GB-01 o GB-01R.
- b) Colocar el selector de combustible HS-02 en posición "piloto".
- c) Presionar el botón restablecedor del programador de falla de flama, el PB-17 I.
- d) Presionar el botón de energización del tablero, PB-17 B.

e) Presionar el botón de arranque de secuencia PB-17 F.

◆ *Barrido*

a) La secuencia de encendido se inicia al comenzar con el barrido de la cámara de oxidación FA-02, por espacio de 30 segundos, con la válvula FV-03 completamente abierta; siempre y cuando no exista bajo flujo de aire a la cámara en el FSL-03B (31.2 Ft<sup>3</sup>/min).

b) Al terminar el tiempo de barrido (30 segundos) la válvula FV-03 retorna a su posición de flujo mínimo (32.4 Ft<sup>3</sup>/min en condiciones normales).

◆ *Encendido del piloto*

Al terminar el tiempo de barrido (30 segundos) se enciende la lámpara de "barrido terminado", y se inician los intentos de encendido del piloto, siempre y cuando no exista baja presión de gas a piloto en el PSL-02 y se haya cumplido con el tiempo establecido. El barrido se efectúa con el flujo total del soplador (FV-03 100 % de apertura) y con el cumplimiento de todos los permisivos antes mencionados, el piloto se enciende por apertura de las válvulas SV-06 y SV-07, a la vez que se cierra la válvula solenoide de venteo SV-08. Así mismo se enciende la lámpara "flama presente".

#### 4.1.12. Quemador de la chimenea

El quemador de la chimenea, el BA-02, debe operarse antes de suministrar el gas ácido al quemador BA-01, es decir; previo al arranque propiamente dicho del paquete. Esto es con el fin de calentar los gases exhaustos de la chimenea FA-05 y con ello disminuir su densidad para ser proyectados a una altura apropiada; donde los vientos predominantes los diluya y arrastre fuera de los límites de la plataforma.

Por tal motivo en esta parte se describe el procedimiento que se debe desarrollar para la prueba de encendido del quemador BA-02. Para una mejor comprensión se puede observar la figura 4.1.

◆ *Procedimiento de encendido*

a) Drenar la línea de gas combustible la  $\frac{3}{4}$  "FG-01-2-CG1 al generador de flama, a través de la válvula de purga para remover los condensados.

b) Colocar el selector HS-03 en la posición manual.

- c) Con la válvula cerrada de suministro de gas combustible FV-02, poner el selector HS-02 en la posición auto/manual.
- d) Presionar el botón de ignición PB-18 (no lo sostenga).
- e) Energizada la válvula solenoide de gas al quemador SV-15B, ajustar la reguladora PCV-07B a 10 - 15 psig.
- f) Abrir la válvula de suministro de gas FV-02 al generador de flama (FFG) y ajustar a 12 psig la válvula reguladora de aire PCV-04, y a 4 psig la de gas combustible PCV-03.
- g) Permitir que la línea de ignición al quemador purgue durante 2 o 3 minutos.
- h) Presionar el botón de ignición PB-18 (presionarlo y liberarlo inmediatamente).
- i) Mover el selector HS-02, a la posición "auto".

## TABLERO DEL GENERADOR DE FLAMA (FFG)

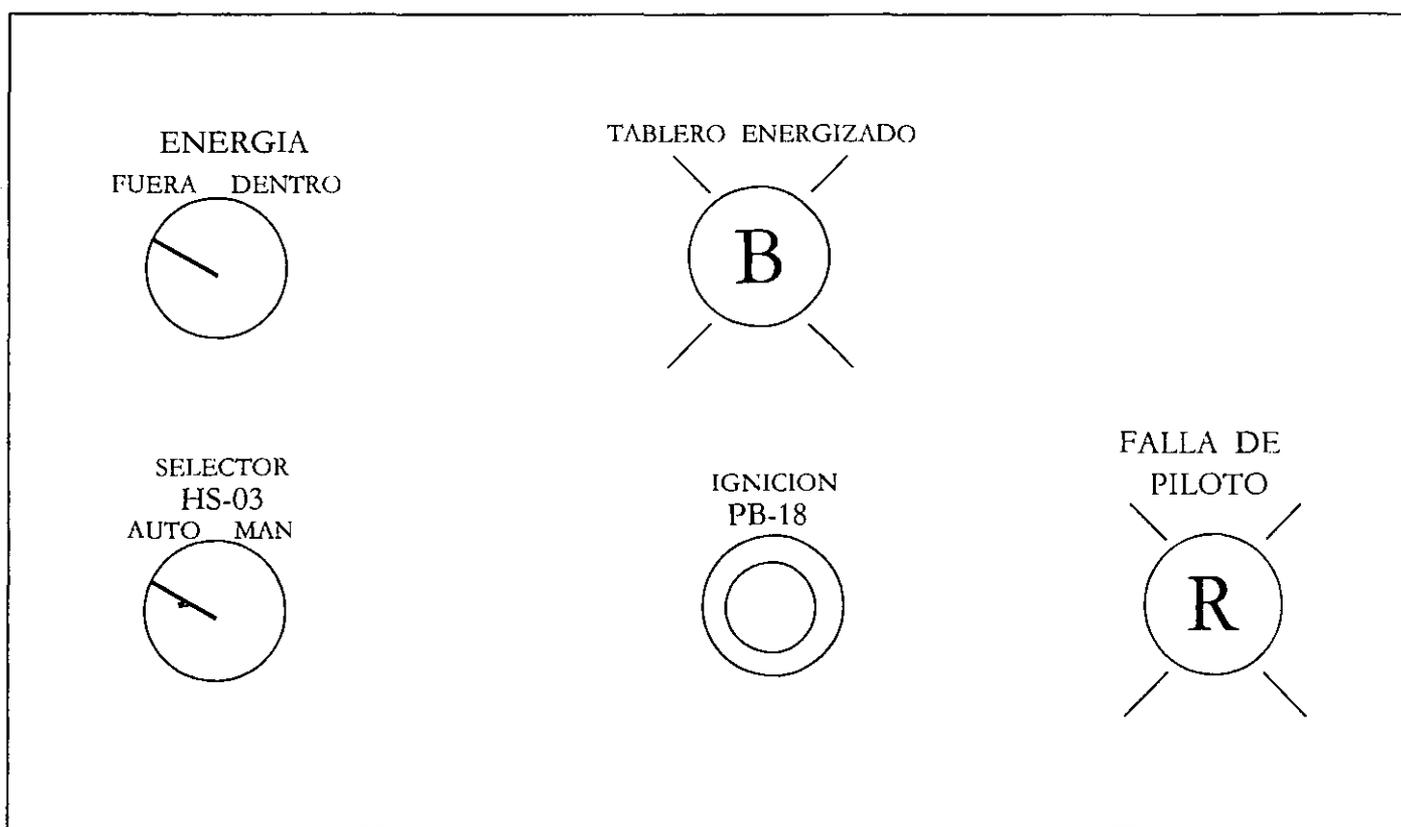


FIGURA 4.1.

## 4.2. ARRANQUE DE LA PLANTA

### 4.2.1. Preparativos

Para proceder a operar el paquete de generación de ácido sulfuroso, deben efectuarse algunos preparativos, una vez que ya se han realizado todas las actividades mencionadas en el procedimiento general de pre-arranque, así como la calibración adecuada de los instrumentos.

En adición, debe verificarse que todos los servicios auxiliares requeridos para la operación del paquete, se encuentren disponibles a las condiciones previamente establecidas.

Una vez cumplido en forma satisfactoria con lo anterior, deben efectuarse las siguientes actividades:

- a) Verificar el suministro de energía eléctrica, desde el CCM-2 y CCM-3 hacia los sopladores de aire GB-01 /R y bombas de la Torre Absorbedora GA-01 /R.
- b) Verificar el suministro de energía de control, al tablero de control local y al tablero del generador de flama, en 127 voltios.
- c) Drenar la línea de gas combustible 1"FG-01-CG1 hacia el quemador de gas ácido BA-01, la, para eliminar los condensados que pudieron haberse formado. Verificar el grado de ensuciamiento del colador en esta línea, si es necesario, efectuar limpieza.
- d) Drenar la línea de aire de instrumentos a fotocelda 1"IA-01-C2, para desalojar los condensados y alinear el servicio verificando que el manómetro PI-06 indique 3 psig.
- e) Alinear el suministro de gas combustible a piloto del quemador de gas ácido BA-01, verificando a través del indicador PI-18, que el ajuste de la reguladora PCV-02 o PCV-02A, sea de 3.5 psig.
- f) Alinear el suministro de gas combustible auxiliar, revisando por medio del indicador PI-03, que el ajuste de la reguladora PCV-01 o PCV-01A sea de 12.8 psig.
- g) Alinear el suministro de agua de mar filtrada, la cual será recibida a 57 psig de presión, observando en el indicador PI-12.
- h) Alinear el suministro de agua de enfriamiento al cambiador de calor EA-01, observando que el manómetro PI-11 indique 20 psig de no ser así, ajustar la presión manualmente con la válvula de globo localizada sobre la línea 1½"-SW-06-PL1.

- i) Alinear el agua de mar a la torre absorbedora DA-01, por el "By-Pass" (directo) de la válvula FV-05, hasta alcanzar en el recipiente el nivel máximo de operación (2.1 m).
- j) Alinear el sistema de agua a la cámara de apagado FA-03, y arrancar manualmente una de las bombas de la absorbedora GA-01 /R, por medio de la estación local de botones.
- k) Ajustar el flujo de agua de enfriamiento de 200 gpm hacia la cámara FA-03, lo cual podrá verificarse mediante el instrumento local FIT-04.
- l) Ajustar el flujo mínimo de aire de combustión (58.8 – 76.5 Ft<sup>3</sup>/min).
- m) Ajustar el tope mínimo de la válvula de gas combustible auxiliar, en base al procedimiento mencionado (0.29 – 1.17 Ft<sup>3</sup>/min).
- n) Alinear el suministro de gas ácido revisando a través del indicador PI-01 de una lectura de aproximadamente 8.0 psig.
- o) Ajustar el tope mínimo de la válvula de gas ácido FV-01 (8.82 Ft<sup>3</sup>/min).

#### 4.2.2. Preparación inicial del material refractario

Antes de iniciar las operaciones normales en el sistema de oxidación y apagado, es necesario efectuar una preparación de material refractario instalado en la cámara de oxidación FA-02 y ducto de transición FA-04 (ver figura 4.2). El material refractario instalado en la cámara de apagado FA-03, no requiere preparación alguna.

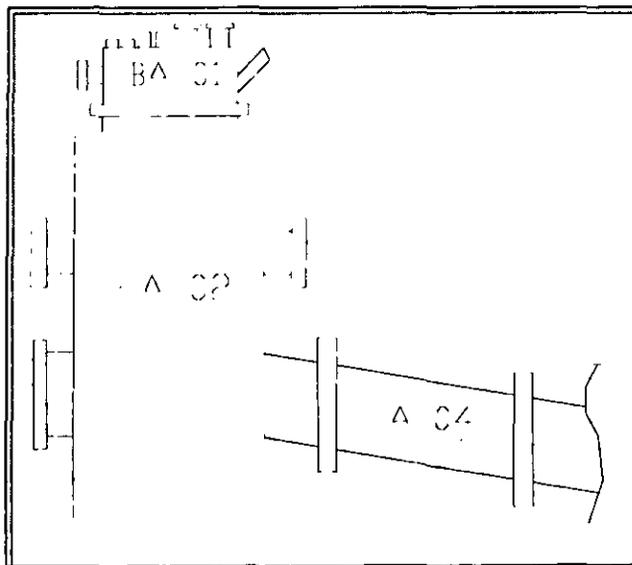


Figura 4.2.

La preparación a la cual nos referimos, es a la del “*curado*” del material refractario, la cual consiste en el calentamiento y enfriamiento controlado con el propósito de remover el agua de dichos materiales, así como para minimizar los daños debido a una expansión térmica diferencial.

El calentamiento controlado debe ser efectuado cuando el paquete vaya a ser puesto en operación, mientras que el enfriamiento también controlado, deberá efectuarse cuando por alguna razón el paquete suspenda sus operaciones.

### *CURADO INICIAL*

El objetivo del curado inicial es remover el agua libre y el agua de hidratación del material refractario y permitir al refractario expandirse térmicamente de manera lenta.

Prácticamente, el curado inicial del material refractario consiste en las siguientes dos etapas:

- Curado con aire
- Calentamiento gradual

### *Curado con Aire*

El curado con aire es necesario únicamente cuando la instalación inicial del material refractario, o reparaciones al mismo hayan precedido inmediatamente al procedimiento de curado, y el material refractario no esté todavía solidificado.

En condiciones de clima seco, simplemente con dejar abierto el registro hombre por un período de 24 horas después de la instalación del material refractario es suficiente para completar el curado con aire.

Sí el curado con aire se lleva a cabo utilizando los sopladores de aire, se debe seguir el siguiente procedimiento:

1.- Accionar manualmente uno de los sopladores de aire GB-01/R, desde su estación local de botones. Con esta acción, se abre automáticamente la válvula de corte correspondiente UV-03 o UV-04.

2.- Abrir el “By-Pass” (directo) de la válvula de control de aire de combustión FV-03. El flujo de aire el cual es indicado en el instrumento local FIT-03, debe fluir a través de las cámaras FA-02, FA-03 y torre absorbidora DA-01. De esta última, el aire sale hacia la atmósfera por conducto del tiro de la chimenea FA-05.

3.- Bajo estas condiciones, permitir fluir el aire durante un período mínimo de 24 horas.

*Calentamiento gradual*

Una vez concluido el curado con aire debe iniciarse el calentamiento gradual del material refractario, lo cual es conocido simplemente como "curado".

El calentamiento gradual del material refractario en la cámara de oxidación FA-02, aplicable simultáneamente al refractario del ducto de transición FA-04; debe efectuarse obedeciendo estrictamente lo indicado en la carta de oxidación. (Ver la tabla 4.1).

TABLA 4.1 CURADO INICIAL DEL MATERIAL REFRACTARIO  
(TIEMPO VS. TEMPERATURA)

TIEMPO (HORAS)	TEMPERATURAS DE OXIDACIÓN	(°F)
0-1	Elevar a	239
1-3	Mantener en	239
3-4	Elevar a	266
4-7	Mantener en	266
7-8	Elevar a	307
8-9	Elevar a	329
9-10	Elevar a	374
10-11	Elevar a	417
11-12	Elevar a	460
12-13	Elevar a	505
13-14	Elevar a	547
14-15	Elevar a	583
15-16	Elevar a	622
16-17	Elevar a	665
17-18	Elevar a	712
18-19	Elevar a	755
19-20	Elevar a	802
20-21	Elevar a	851
21-29	Mantener en	851
29-30	Elevar a	939
30-31	Elevar a	1036
31-32	Elevar a	1132
32-33	Elevar a	1232
33-34	Elevar a	1335
34-35	Elevar a	1438
35-36	Elevar a	1542
36-37	Elevar a	1654
37-38	Elevar a	1765
38-39	Elevar a	1877
39-40	Elevar a	1988
40-41	Elevar a	2107

NOTAS:

- 1.- Una vez iniciado el curado en la cámara de oxidación, éste no debe ser suspendido.
- 2.- Si la operación de la unidad se ha suspendido por un período mayor a un mes, se tendrá que desarrollar nuevamente esta tabla, antes de la puesta en marcha del paquete.

A continuación se mencionan las actividades que deben desarrollarse para el calentamiento gradual del material refractario:

- a) Encender el piloto del quemador BA-01.
- b) Inmediatamente colocar el controlador FIC-03 en modo manual y abrir la válvula FV-03 al 100 %. Esto genera que el curado se inicie a la temperatura más baja posible (aproximadamente 302 °F de lectura). Gradualmente incrementar la temperatura cerrando la válvula FV-03 (aire de combustión). El tope mínimo (58.8 – 76.5 Ft<sup>3</sup>/min) será alcanzado a una temperatura actual de cerca de 1058 °F.
- c) Una vez que la válvula FV-03 se encuentre en su tope mínimo, el quemador de gas principal debe encenderse para proporcionar calor adicional para el curado. El quemador de gas principal debe regularse a un flujo mínimo de aproximadamente 0.58 Ft<sup>3</sup>/min, y el aire debe ser ajustado apropiadamente para alcanzar la temperatura adecuada; cada vez que se alcance el tope mínimo en la válvula FV-03, el gas combustible principal y el aire reajustado deben incrementarse 0.58 – 1.17 Ft<sup>3</sup>/min para alcanzar la temperatura deseada. Para mantener la temperatura deseada, siempre debe haber suministro de aire en exceso de acuerdo los requerimientos estequiométricos.

Alternativamente, una vez que la válvula FV-03 se encuentre en su tope mínimo con el flujo de gas combustible principal, el controlador TIC-03 debe utilizarse para el resto del curado. Se debe mover simplemente el punto de ajuste del controlador a la temperatura deseada para el curado.

- d) Durante el tiempo de calentamiento se debe vigilar la reposición manual (por el "By-Pass" de la válvula FV-05), de nivel en la torre absorbadora DA-01.

#### 4.2.3. Procedimiento de arranque de la planta en frío, efectuado el curado inicial.

Una vez efectuado el curado inicial del material refractario, la unidad podrá calentarse gradualmente de manera más rápida ya que la mayor parte de la humedad haya sido eliminada. Los daños del refractario por expansión térmica diferencial se reducirán, si las velocidades de calentamiento y enfriamiento se reducen.

- a) Si la operación de la unidad fue suspendida durante un período menor a un mes, el curado del material refractario podrá ser desarrollado de acuerdo a la Tabla 4.2.

TABLA 4.2 CURADO DEL MATERIAL REFRACTARIO DESPUES DE UN PARO MENOR A UN MES Y EFECTUANDO EL CURADO INICIAL.

TIEMPO (HORAS)	TEMPERATURAS DE OXIDACIÓN	(°F)
0-1	Elevar a	201
1-2	Elevar a	266
2-3	Elevar a	329
3-4	Elevar a (NOTA)	417
4-5	Elevar a	505
5-6	Elevar a	582
6-7	Elevar a	665
7-8	Elevar a	851
8-9	Elevar a	1036
9-10	Elevar a	1232
10-11	Elevar a	1438
11-12	Elevar a	1653
12-13	Elevar a	1877
13-14	Elevar a	2107

NOTA: Es recomendable mantener la temperatura a 500 °F durante cuatro horas, Siempre y cuando la unidad haya sido expuesta a fuertes lluvias o a temperaturas frías extremas.

#### 4.2.4. Calentamiento de la cámara de oxidación después de un paro parcial

Sí después de un paro parcial la temperatura en la cámara de oxidación es de 500 °F o mayor, se podrá elevar la temperatura de acuerdo con la Tabla 4.3.

NOTA: Es necesario enfriar la unidad a 500 °F, para iniciar su calentamiento. El calentamiento puede iniciarse a la temperatura a la cual se encuentre la cámara de oxidación.

TABLA 4.3 CALENTAMIENTO DE LA CAMARA DE OXIDACIÓN, DESPUES DE UN PARO PARCIAL

TIEMPO (HORAS)	TEMPERATURAS DE OXIDACIÓN	(°F) SC
0-1	Elevar a	505
1-2	Elevar a	583
2-3	Elevar a	665
3-4	Elevar a (NOTA)	851
4-5	Elevar a	1036
5-6	Elevar a	1232
6-7	Elevar a	1438
7-8	Elevar a	1653
8-9	Elevar a	1877
9-10	Elevar a	2107

#### 4.2.5. Enfriamiento de la cámara de oxidación

Sí por alguna razón el paquete queda fuera de operación, o bien; se desea el enfriamiento de la cámara de oxidación FA-02; esto debe efectuarse a razón de 100 °F por hora o menos, para minimizar la expansión térmica diferencial.

#### 4.2.6. Procedimiento de arranque

Una vez efectuados todos los preparativos, así como la preparación del material refractario; podrá iniciarse el procedimiento de arranque del paquete de generación de ácido sulfuroso.

Se mencionan las acciones a efectuar por parte del operador sobre el tablero de control local, así como la respuesta del sistema del propio tablero. Para un mejor entendimiento ver la figura 4.3.

#### *Operación Automática*

Cuando el quemador de gas ácido BA-01 se encuentre encendido y operando en forma "automática", el proceso de generación de ácido sulfuroso queda gobernado bajo el control de la instrumentación mencionada en la Tabla 4.4.

## TABLERO DE CONTROL LOCAL

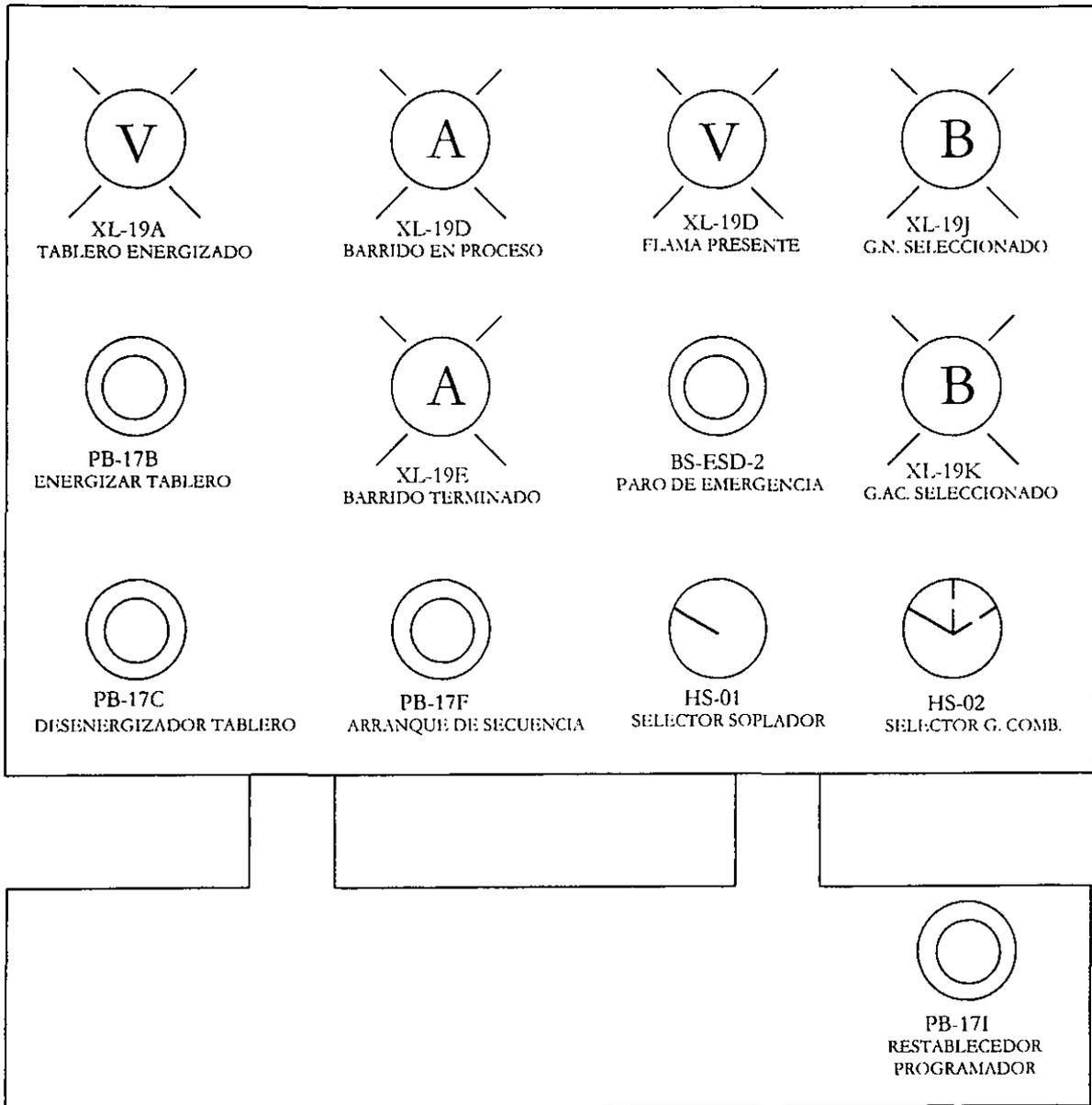


FIGURA 4.3.

TABLA 4.4 INSTRUMENTACIÓN QUE GOBIERNA LA OPERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PAQUETE

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	AJUSTE
LIC-04	Controlador Indicador de nivel en el tanque FB-01.	1.524 m
TIC-04	Controlador Indicador de temperatura de la solución ácida de la DA-01 hacia FA-03.	93 °F
TSH-04B	Interruptor por alta temperatura en la solución ácida de la DA-01 hacia FA-03	100 °F
LIC-03	Controlador indicador de nivel en la torre absorbadora DA-01.	1.679 m
FIC-06	Controlador indicador de flujo de la solución ácida hacia la absorbadora DA-01	10.1 gpm
FIC-05	Controlador indicador de flujo de agua de mar hacia la Absorbadora DA-01.	86 gpm
FIC-01	Controlador indicador relacionador de flujo de gas ácido al quemador BA-01.	104.4 Ft <sup>3</sup> /min
FIC-02	Controlador indicador de flujo de gas combustible a BA-01.	0.58 – 2.94 Ft <sup>3</sup> /min
FSL-01B	Interruptor por muy bajo flujo de gas ácido hacia BA-01	8.82 Ft <sup>3</sup> /min
FIC-03	Controlador indicador de flujo de aire de combustión.	465.8 Ft <sup>3</sup> /min
FY-01B	Relacionador de aire/gas ácido.	3.32/1
FY-02B	Relacionador de aire/gas combustible, y piloto/gas combustible.	16.32/1 y 10/1
FY-01C	Sumador de señales de relación aire/gas combustible.	
FSL-05B	Interruptor por bajo flujo de agua de mar a la DA-01.	15.4 gpm
TIC-03	Mantiene la temperatura de la cámara de oxidación por arriba de los 1700 °F al ajustar el punto de ajuste del FIC-02 en cascada.	1700 °F
FY-01 D/E	Compara la temperatura de operación de la cámara de oxidación con 1976 °F y deriva un ajuste para la relación de aire/gas ácido si la temperatura excede los 1976 °F.	1976 °F- 2200 °F
FY-01F	Modifica la relación del FY-01C por medio de un multiplicador.	Relación 1/1 - 2/1.

*Consideraciones durante la operación*

Aún con el conocimiento de que la operación del paquete se efectúa mediante un sistema totalmente automático, es de importancia para el personal operativo, enfatizar algunos aspectos a considerar durante la operación de los equipos.

A continuación se mencionan algunos aspectos relevantes, a los cuales podrán adicionarse aquellos que resulten de mayor o menor grado, a medida que el operador adquiera experiencia:

a) Debido a que la presión del gas ácido alimentado al paquete (8 psig), no es directamente controlada en el mismo, el operador debe vigilar la presión en la fuente de suministro, es decir; la presión de operación en el tanque de reflujo de la planta de endulzamiento de gas que se encuentra trabajando.

b) Durante la operación debe asegurarse que la relación de gas ácido y/o gas combustible/aire de combustión sea la adecuada, para evitar la formación de azufre y otros productos indeseables que perjudican a los equipos.

c) El paquete de ácido sulfuroso nunca debe operarse con el quemador BA-02 fuera de operación, y/o falta de disponibilidad del sistema de agua de emergencia.

d) En ningún momento debe operarse el quemador de gas ácido, cuando la temperatura en la cámara de oxidación sea menor a 1868 °F. Esto es con el fin de asegurar la conversión del  $\text{SO}_2$ .

e) Otra de las consideraciones relevantes que deben mencionarse, es la de evitar la operación al máximo nivel en la cámara de apagado FA-03, ya que se corre el riesgo de afectar gravemente el material refractario instalado en el ducto de transición FA-04, por humedecimiento del mismo.

f) Por seguridad del personal y protección al equipo, la operación del paquete debe suspenderse cuando la temperatura externa de la cámara de oxidación FA-02, sea mayor a 650 °F.

g) Es de vital importancia vigilar la caída de presión a través del colador tipo cónico instalado en la succión de las bombas GA-01/R y GA-02/R, para evitar la cavitación de las mismas por obstrucción de dichos elementos. Generalmente, la pérdida gradual de flujos de líquidos en la torre absorbidora/cámara de apagado indica la presencia de una obstrucción.

h) Siendo la temperatura de los gases de combustión enfriados en la cámara de apagado FA-03 uno de los parámetros que influyen en la eficiencia de absorción del  $\text{SO}_2$  en la torre DA-01, el sistema debe mantener constante el suministro de 200

gpm de solución ácida hacia la FA-03; independientemente de la capacidad de operación de la planta.

i) La temperatura de la solución en el fondo de la absorbidora DA-01, no debe ser mayor a 100 °F ya que se tendría una solución ácida inestable, causando emisión excesiva de vapores en el tanque de almacenamiento FB-01.

j) Es importante que al operador del paquete y/o sistema de control (SC) se le comunique con anticipación cualquier cambio en la cuota de agua de inyección, es decir; cambio en la demanda de ácido sulfuroso ya que a pesar de que los ajustes en el paquete son efectuados de manera automática, el operador debe vigilar las condiciones de operación, especialmente la temperatura de operación de la cámara de oxidación, ya que esta da una indicación de la relación requerida de aire de combustión/gas ácido.

k) El paro del paquete por falla en el suministro eléctrico y/o aire de instrumentos, debe ser atendido de inmediato por el operador efectuando las actividades mencionadas.

l) Después de un paro del paquete, dependiendo del período de dicho evento, el calentamiento gradual de la cámara de oxidación FA-02 debe efectuarse de acuerdo al procedimiento mencionado.

### 4.3. PROCEDIMIENTO DE PARO

#### 4.3.1. Paro total

Este paro se desencadena por acción de cualquiera de los siguientes permisos:

➤ *En la Sección de servicios auxiliares (ver Figura 4.4).*

a) Botón de desenergización del tablero, PB-17C.

b) Botón de paro local PB-17H.

c) Interruptor de baja presión de gas a piloto, PSL-02.

d) Interruptor de alta presión de gas combustible, PSH-02B.

e) Interruptor de baja presión de gas combustible, PSL-02A.

f) Interruptor por bajo flujo de aire de combustión FSL-03B.

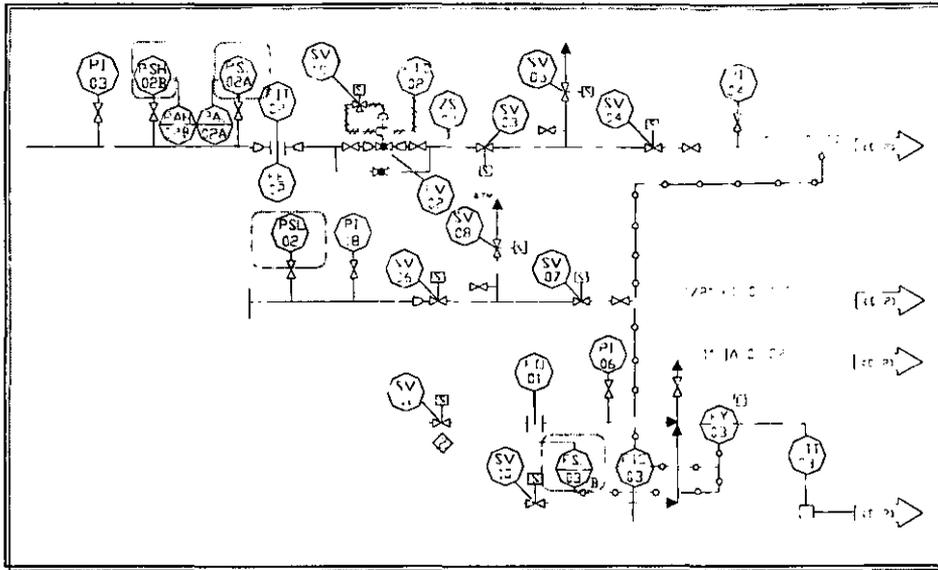


Figura 4.4

➤ En la Sección de oxidación y apagado (ver Figura 4.5).

- g) Interruptor por muy alta temperatura en cámara de oxidación, TSHH-03B.
- h) Interruptor por bajo flujo a la cámara de apagado, FSL-04B.
- i) Interruptor por alto nivel en cámara de apagado, LSH-02.
- j) Interruptor por alta presión en cámara de apagado, PSH-03.
- k) Falla de flama en el quemador BA-01, en BS-01.

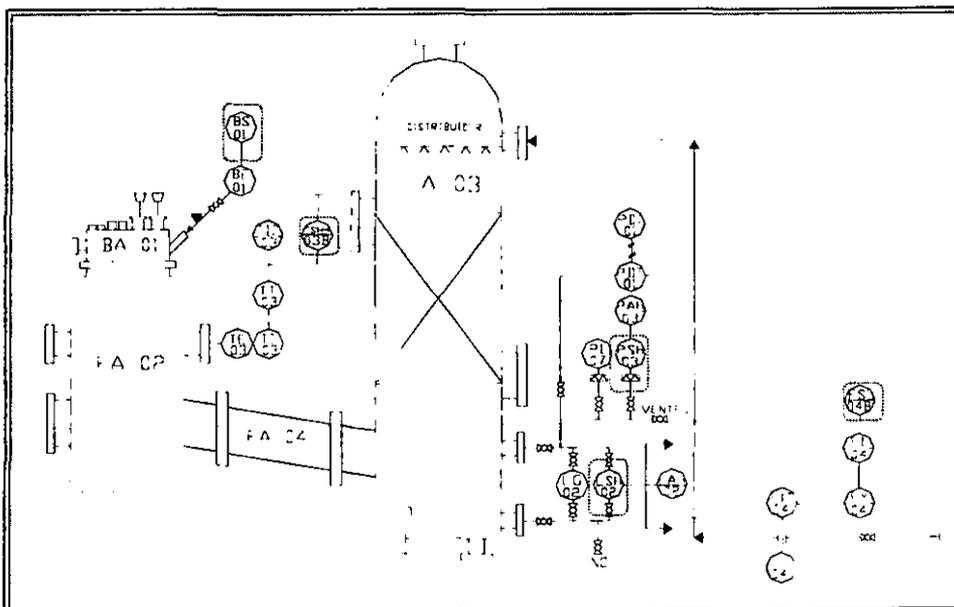


Figura 4.5

➤ En la Sección de absorción (ver Figura 4.6).

l) Interruptor de muy alta temperatura en solución ácida para apagado, TSHH-04B.

m) Interruptor de muy alto nivel en torre absorbidora, LSHH-03B.

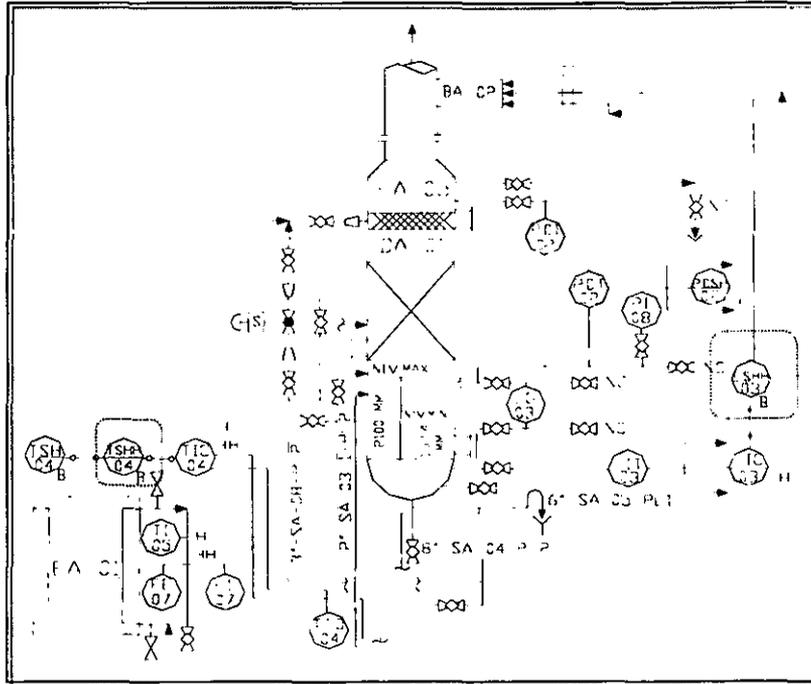


Figura 4.6

Otros permisos que desencadenan un paro son:

n) Paro remoto a causa del sistema de seguridad.

o) Falla de aire de instrumentos.

p) Falla de energía eléctrica.

Al ocurrir el accionamiento de cualquiera de éstos, el paquete suspenderá su operación, efectuándose lo siguiente:

1. Se cierran las válvulas de corte de gas ácido UV-01 y UV-02, y se abre la de venteo SV-02; por desenergización de las mismas.
2. Se cierran las válvulas de corte de gas combustible SV-03 y SV-04, y se abre la de venteo SV-05; por desenergización de las mismas.

3. Se cierran las válvulas de corte de gas a piloto SV-06 y SV-07, y se abre la de venteo SV-08.
4. Se cierran las válvulas de suministro de agua de mar a la torre absorbidora FV-05 y la del ácido sulfuroso al tanque de almacenamiento, LV-03, como consecuencia de la desenergización de sus válvulas solenoides respectivas.

Cuando ocurra un paro por cualquiera de las condiciones anteriores a excepción de la falla de energía eléctrica, o por acción del sistema de seguridad, debe seguir operando la bomba GA-01/R hasta que la temperatura en la cámara de oxidación sea menor a 200 °F. El soplador se mantiene operando con energía eléctrica de emergencia.

Al ocurrir el paro del soplador GB-01/R se desenergiza la válvula de purga SV-11 de la fotocelda como consecuencia de la baja presión de aire detectada por el PSL-03. Esta acción también ocurre por falla de energía eléctrica.

Al ocurrir un paro del soplador GB-01/R la válvula SV-11 proveerá presión positiva a la cámara de oxidación, aunque existe la posibilidad de que algo de humedad pueda entrar en la cámara de oxidación proveniente de la cámara de apagado. Para evitar lo anterior, se recomienda que uno de los sopladores se opere utilizando energía eléctrica de emergencia, con la válvula FV-03 a flujo mínimo. Al realizar esta acción, el piloto y el quemador de gas combustible deben ser inmediatamente encendidos para asegurar que el material refractario no se enfríe demasiado rápido.

La cámara de oxidación debe entonces, enfriarse a razón de 140 °F por hora o menor, al ir reduciendo el gas combustible e incrementando el aire de combustión.

En caso de paros prolongados por un periodo mayor de 72 horas, es recomendable cortar todos los servicios (gas combustible, gas ácido, agua de mar, aire de planta e instrumentos). Posteriormente, desfogar y drenar líneas y equipos.

#### 4.3.2. Paro parcial

Este tipo de paro se efectúa por acción de cualquiera de las siguientes condiciones:

a) Alta presión de gas ácido, PSH-01.

b) Baja presión de gas ácido, PSL-01.

c) Muy alto nivel en el tanque de almacenamiento, LSHH-05.

Se cierran las válvulas de corte de gas ácido UV-01 y UV-02, abriéndose la válvula de venteo SV-02.

En este tipo de paro, sólo queda encendido el piloto y el quemador de gas combustible puede ser operado a flujo mínimo para evitar el enfriamiento total de la cámara de oxidación.

Se cierra la válvula de suministro de agua de mar FV-05 a la torre absorbidora, la del ácido al tanque de almacenamiento LV-03; como consecuencia de la desenergización de sus respectivas válvulas solenoides.

Para operar nuevamente el paquete de sulfuroso después de un paro parcial, debe proseguirse con el calentamiento gradual de la cámara de oxidación; antes de iniciar la secuencia de encendido del quemador de gas ácido.

#### 4.3.3. Paro parcial programado

Este paro se efectúa con sólo accionar el botón selector de gas combustible HS-02L a la posición de "gas combustible", sucediendo los mismos eventos que en el paro parcial. Con atención especial debe atenderse al ocurrir los eventos por:

- a) Falla de aire de instrumentos.
- b) Paro por el sistema de paro de seguridad.
- c) Falla de energía eléctrica.

**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Al ocurrir cualquiera de ellas, el operador sólo debe verificar la apertura automática de la válvula UV-05 instalada en la línea de agua de emergencia para asegurar la alimentación inmediata de agua proveniente de la red de agua contraincendio; a fin de enfriar los gases remanentes en la cámara de oxidación FA-02. Así mismo, inmediatamente después de la reposición de energía del sistema de emergencia y de que se reactive la bomba de agua de servicios, el operador debe efectuar el cambio de suministro de agua contraincendio por la de agua de servicios, para disponer del 100 % de la red de agua contraincendio como lo marcan las normas de PEMEX, y a la vez seguir contando con un medio de enfriamiento de gases residuales de combustión.

Al igual que en el caso de paro total, simultáneamente a la puesta en marcha del motogenerador de emergencia, se recomienda operar uno de los sopladores de aire de combustión GB-01/R, y encender el piloto y quemador principal. Debe procederse entonces con el enfriamiento controlado de la cámara de oxidación a razón de 140 °F por hora.

#### 4.4. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Debido a que el aire es indispensable para la vida sobre la tierra, la adición de materia indeseable transportada por el aire, como el humo, cambia la composición de la atmósfera de la tierra, perjudicando la vida y alterando los materiales. La preocupación general actual por los problemas del medio ambiente está produciendo una presión en el sentido de modificar algunos aspectos que rigen la concentración de residuos en el aire.

Uno de los principales problemas ambientales que se puede encontrar en el arranque del paquete, es que no se lleve a cabo de manera satisfactoria la absorción del  $\text{SO}_2$  en el agua de mar filtrada, para dar origen al ácido sulfuroso, esto es en la sección de absorción; por tal motivo la torre de absorción DA-01 tiene montado sobre ella, un quemador de gases residuales BA-02, para eliminar o disminuir el  $\text{SO}_2$  que no reaccionó o fue absorbido.

Los óxidos de azufre ( $\text{SO}_2$ ) desde el punto de vista dañino sobre el hombre y de las dificultades que presenta la prevención de su descarga a la atmósfera, es el contaminante del aire individual más significativo, pues a altas concentraciones, se ha relacionado con los principales problemas de contaminación del aire (ver figura 4.7).

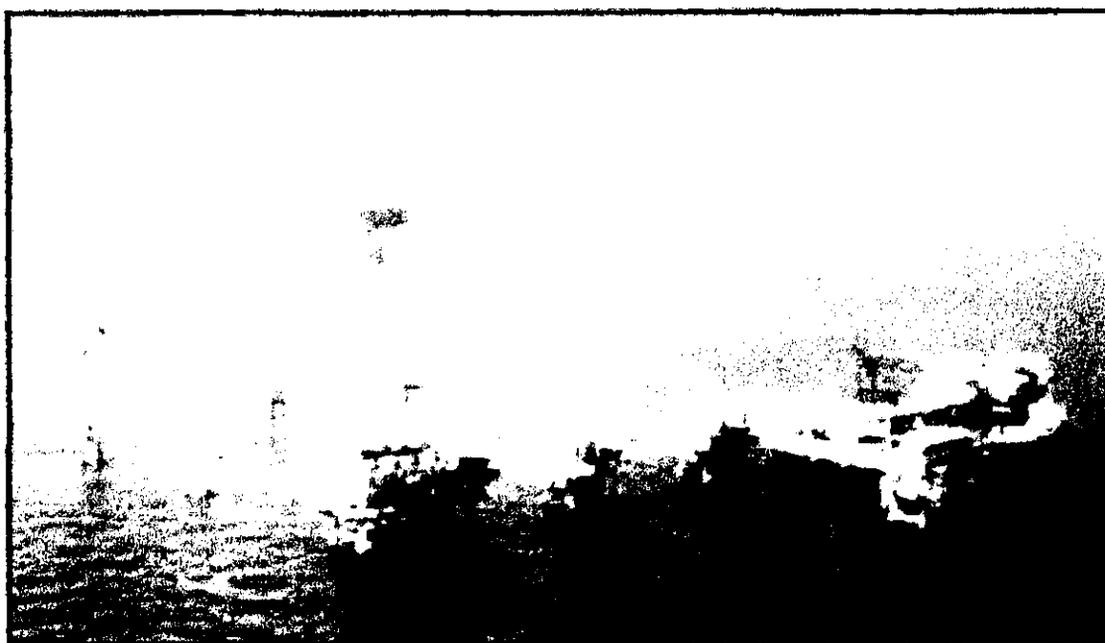


Figura 4.7.

Los gases residuales de venteo a la atmósfera contienen aproximadamente el 7.5 % en peso del  $\text{SO}_2$  generado mediante la combustión del gas ácido lo cual corresponde a 600 ppm.

El dióxido de azufre es un gas incoloro, no inflamable ni explosivo y más pesado que el aire. Este se presenta en el aire como resultado de procesos naturales y de las actividades del hombre, principalmente por la quema de combustibles. Su olor es perceptible en una concentración mínima de 0.47 ppm con un fuerte olor sofocante. Aunque es un gas no riesgoso, una exposición prolongada a concentraciones superiores a la mínima para su percepción produce irritaciones respiratorias y agrava las ya existentes.

La "American Conference Of Governmental Industrial Hygienists, INC", estableció 2 límites de concentración del SO<sub>2</sub> denominados TLV (Threshold Limit Value) de 2 ppm y STEL (Short Term Exposure Limit) de 5 ppm, siendo el primero, un valor promedio de exposición en área de trabajo durante 8 horas por día o 40 horas por semana. El segundo valor es el límite máximo de concentración en un tiempo de 15 minutos de exposición.

Tomando como base las consideraciones anteriores, se tomó como criterio tener una concentración máxima de 0.5 ppm a nivel del receptor.

Así que para lograr una concentración normal de 0.46 ppm a una distancia de 217 metros desde la fuente, es necesario calentar los gases residuales justo antes de descargarlos hacia la atmósfera con el quemador BA-02 a 200 °F. Bajo estas condiciones de temperatura, la concentración de 0.46 ppm se logrará cuando se tengan velocidades de viento de 30 m/min; sin embargo a las velocidades normales prevalecientes que son de 180 a 540 m/min, la concentración a nivel del receptor se reduce a 1/10 parte de la concentración.

A continuación se muestra la siguiente tabla que describe de manera general los efectos que producen diferentes concentraciones de SO<sub>2</sub> en el hombre:

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN en ppm.	EFFECTOS
SO <sub>2</sub>	0.2	Causa respuesta en los reflejos condicionados en el córtex cerebral.
	0.3	Sabor característico en las personas.
	0.5	Olor característico a cerillo.
	1.6	Problemas en el sistema respiratorio, inflamación aumento de la actividad bronquial.
	8 A 12	Provoca irritación en garganta y ojos.
	20	Se manifiesta tos inmediata.

Tabla 4.5.

## 4.5. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

### *Aspectos generales*

La plataforma de control y servicios donde se encuentra el paquete, está diseñada con un sistema de seguridad que cumple con las normas NFPA, API - RP - 2G y estándares de la guardia costera de los Estados Unidos. Además, existen las normas de operación, las cuales aunadas a las de diseño, conducen a una operación segura de la plataforma. Sin embargo, para el manejo de gases y líquidos altamente volátiles, inflamables o tóxicos, como es el caso del paquete de generación de ácido sulfuroso, se deben tomar precauciones adicionales de seguridad:

- ◆ Todo el personal relacionado con la operación y mantenimiento de este paquete debe entender muy claramente, el peligro involucrado y los posibles resultados de la operación o uso descuidado de herramientas, en el área de trabajo.
- ◆ Los recipientes y equipos se han diseñado para el manejo de líquidos y gases ácidos a temperaturas y presiones que se puedan presentar en la operación normal de la unidad.
- ◆ Se recomienda de forma estricta verificar fugas en líneas o equipos que contienen líquidos y gases volátiles o tóxicos, así como los del proceso en general por cambios anormales de condiciones que se pudieran presentar.

### *Apertura de líneas y equipos*

- ◆ Cuando sea necesaria la apertura de líneas y equipos que manejen líquidos o gases inflamables o tóxicos, después de ser vaciados y depresionados, deben eliminarse los residuos. Esto mismo aplica, cuando el equipo o línea va a ser inspeccionado o se le de mantenimiento.
- ◆ Se recomienda evitar el venteo al aire, de vapores de hidrocarburos en grandes cantidades, ya que pueden provocar incendio.
- ◆ Las líneas y equipos no deben purgarse con aire, excepto cuando se realicen procedimientos de prueba o secado.

### *Apertura de recipientes*

Para torres u otros equipos grandes que se vayan a inspeccionar o a dar mantenimiento, deben seguirse las recomendaciones anteriores, pero además, deben aislarse con bridas ciegas y establecerse corrientes de aire.

Para este caso en particular, adicionalmente a lo anterior descrito, debe considerarse lo siguiente:

- ◆ Purgar este y otros equipos corriente abajo, antes de entrar en él. No entre a este equipo excepto con la presencia de alguien capaz de prestar auxilio.
- ◆ No entre en este u otro equipo corriente abajo, cuando esté caliente, o cuando contenga gas ácido o gas combustible, pues podrían provocarse muertes o heridas severas debido a la exposición a gases calientes, equipo caliente, gas ácido o gas combustible.

#### *Manejo de gases y sustancias químicas*

Toda sustancia química puede ser peligrosa, pero cuando se le maneja con el conocimiento pleno de sus características y propiedades tóxicas, y tomando en cuenta las reglas de seguridad en cada caso, se disminuirán los riesgos del manejo.

#### *Manejo de ácido sulfhídrico*

El ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) es un ácido muy tóxico e inflamable, por lo que es necesario conocer sus efectos y propiedades principales, para que su manejo sea lo menos peligroso posible.

#### *Manejo de dióxido de azufre*

Al igual que el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) es un gas tóxico. Para su manejo debe tomarse en cuenta su límite de exposición permisible, riesgos a la salud, procedimiento de vigilancia y medición, equipo personal de seguridad, así como la protección respiratoria para dicho producto.

#### *Manejo de ácido sulfuroso*

Evite totalmente su contacto ya que este ácido como otros, es altamente corrosivo, picante. En contacto con la piel, inflama y quema fuertemente la parte dañada, la cual debe ser lavada con agua en abundancia.

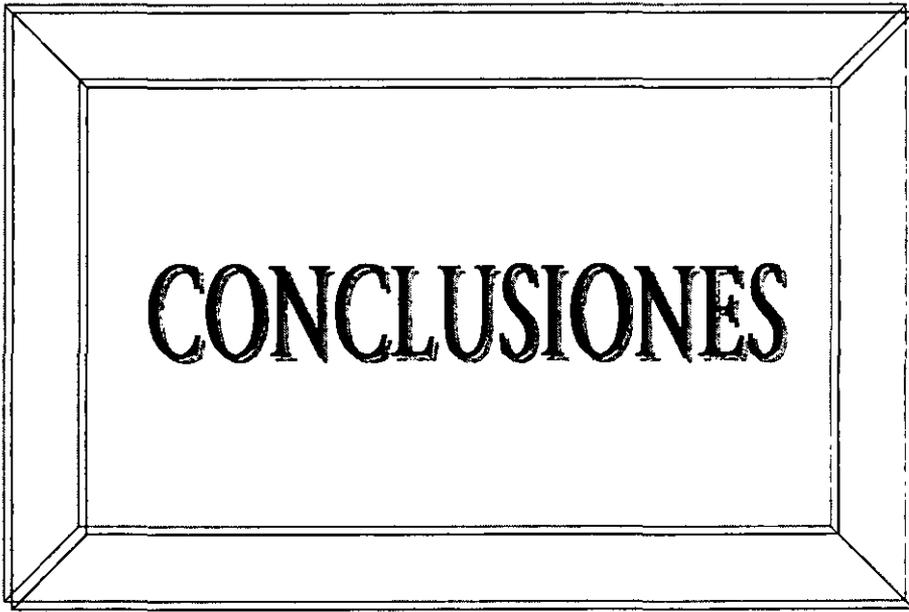
#### *Recomendaciones de inspección en las cámaras de combustión y apagado.*

A continuación se mencionan algunas recomendaciones generales de inspección, recomendadas por el fabricante del equipo:

1. Se debe efectuar una inspección minuciosa del sistema refractario por lo menos dos veces al año.

2. Durante la operación, se debe monitorear la temperatura externa de las cámaras de oxidación y apagado. Llevar un registro diario de las temperaturas monitoreadas y verificar los puntos calientes.
3. Inspeccionar diariamente a través de la mirilla los componentes internos para daños o acumulación de depósitos en ellos. Limpiar o reemplazar si es necesario.
4. Por lo menos dos veces al año, inspeccionar las juntas de expansión del ladrillo refractario. Reparar cuando se requiera de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
5. Inspeccionar semanalmente las fugas en juntas bridadas. Reparar cuando así se requiera.
6. Inspeccionar las puntas ("tip") del quemador de gas ácido y gas combustible, así como el cono de estabilización de la flama, por taponamiento, desgaste, corrosión y/o daño por calor. Reparar o reemplazar cuando sea necesario.
7. Inspeccionar mensualmente el empaque de deslizamiento, instalado en soporte de la cámara de oxidación. Reemplazar si es necesario.
8. Inspeccionar por lo menos dos veces al año la fosa de la cámara de apagado para materiales como trozos de ladrillo y piezas de empaque (flexisaddle).
9. Inspeccionar para daños, el plato de soporte del empaque, el empaque, el distribuidor de líquido, así como también el tubo de alimentación. Reemplazar cuando se requiera.

---

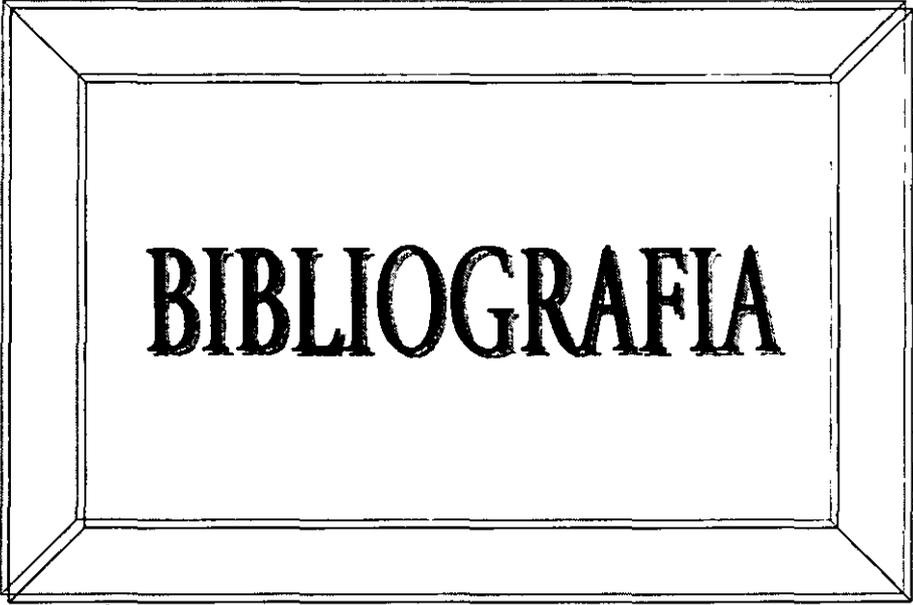


**CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

- \* El ingeniero de arranque y puesta en operación deber tener conocimiento del diseño de equipos, diseño hidráulico, diseño mecánico, pero más profundamente tener experiencia en diagnosticar la forma de operación de cada equipo, para poder dar una solución inmediata, oportuna y efectiva en caso de presentarse un problema o eventualidad durante el arranque de un equipo o de una planta completa.
- \* La recuperación secundaria a través del método de inyección de agua al yacimiento petrolífero, ayuda de manera significativa en la explotación de un volumen mayor de hidrocarburos sobre aquel que se obtuvo durante su explotación primaria.
- \* Es de primordial importancia que el flujo de agua de mar para inyección, cumpla con ciertas características de calidad, neutralidad y pureza requeridas por las normas y/o especificaciones, para evitar daños tanto en los equipos como en el propio yacimiento.
- \* Se deben tomar en cuenta todas las consideraciones de seguridad en la operación del paquete, pero de una manera especial en la sección de combustión y quencheo, debido a las características propias del material refractario.
- \* Durante la etapa de absorción se debe tener especial cuidado en el calentamiento de los gases residuales de venteo a la atmósfera, para lograr disminuir su concentración y así disminuir el riesgo tanto de la instalación como del personal.
- \* Las pruebas preliminares que se hacen a los equipos y tuberías antes de su puesta en operación, deben estar bien establecidas de acuerdo a los lineamientos, para tener un mejor funcionamiento y calibración de los instrumentos y accesorios de control.
- \* Para poder comprender mejor los lineamientos que se deben seguir en la puesta en operación del paquete, se necesitó la explicación detallada de cada una de las secciones que lo conforman, por tanto se puede decir de manera general que para el arranque de cualquier instalación, es absolutamente necesario conocer específicamente todos los instrumentos, equipos, tuberías, condiciones de operación, etc., que se involucran en dicha instalación.

---



**BIBLIOGRAFIA**

---

---

## BIBLIOGRAFIA

Amos, Turk., & Jonathan, Turk. (1973). Ecología, contaminación, medio ambiente. (1ra ed.). Interamericana.

Béla G. Lipták. Instrument engineers handbook. Pennsylvania: Chilton Book Company.

Lester, Charles Uren. (1965). Ingeniería de producción de petróleo. (1ra ed.). Compañía Editorial Continental, S.A.

Manfred, Gans. (1976). The A to Z of plant startup. Chemical Engineering. 15. 75-82.

Marshall, A. Malina. (1980). Upgrading predictions of startup cost. Chemical Engineering. 11. 167-168.

Nacif, Narchi José. (1978). Ingeniería de control automático. (1ra ed.). La ilustración. S.A.

Nimmo, Ian. (1993). Start Up Plants Safely. Chemical Engineering Progress. 51. 66-69.

Rase, H.F & Barrow, M.H. (1982). Ingeniería de proyectos para plantas de proceso. México: C.E.C.S.A.

Rosaler, Robert. C. (1960). Manual de mantenimiento industrial. (Tomo IV). McGraw-Hill.

Sutton, Ian S. (1991). Writing a better operating manual. Hydrocarbon Processing. 115-119

Wark, Kenneth, W.C. (1990). Contaminación del aire, origen y control. (2da ed.). México: Limusa

W.G. Andrew & H. B. Williams. (1979). Applied instrumentation in the process industries. (2nd ed.). Houston Texas: Gulf Publishing Company.

### INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE

*(Documentos generados por el departamento de Operación de la Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación del IMP).*

Proyecto Abkatún de Inyección de Agua.  
(Sonda de Campeche) PEMEX.

---

Plataforma de Control y Servicios (P.C.S) Abkatún  
(Sonda de Campeche).

Plataforma de Tratamiento y Bombeo (P.T.B) Abkatún  
(Sonda de Campeche) PEMEX.

*CODIGOS Y ESTANDARES DE INGENIERIA*

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API)

API-S526  
API-RP550

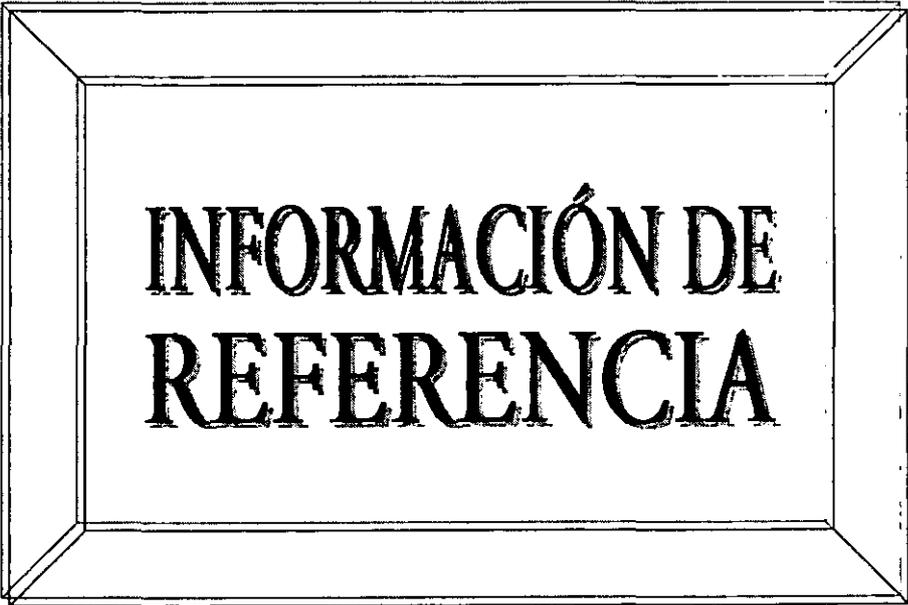
INSTRUMENTISTS SOCIETY OF AMERICA (ISA)

ISA-S5.1  
ISA-S5.2  
ISA-S20  
ISA-RP60.9

NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (NACE)

NACE MRO-175-95

---



**INFORMACIÓN DE  
REFERENCIA**

---

## GLOSARIO DE TERMINOS

**BARRIDO:** Se refiere a la acción de suministrar aire a presión a los equipos y tuberías para arrastrar posibles residuos.

**BIAS:** Se refiere a la transferencia manual de un modo de control a otro.

**BIOCIDA:** Es un compuesto generalmente de origen inorgánico que mata las bacterias y otras formas de vida que existen en el agua, el Biocida más efectivo para sistemas de inyección es el cloro.

**CASCADA:** Es el lazo de control en el cual se tiene un elemento maestro y uno esclavo para llevar a cabo la función de control; es decir el elemento esclavo, modifica automáticamente su punto de ajuste de acuerdo a los niveles de control definidos por el control maestro.

**CURADO:** Se refiere al pre-tratamiento térmico inicial (calentamiento gradual) que se le aplica a cualquier equipo constituido por material refractario y que a su vez es sometido a altas temperaturas y su función es evitar que el material sufra esfuerzos mecánicos debido a los choques térmicos a que va a ser sometido.

**MALLA SEPARADORA:** Cuya función es retener el rocío de líquido que puede estar presente en la corriente gaseosa.

**DEAERACIÓN:** Se refiere a cualquier método que ayude a eliminar el oxígeno presente en el fluido de proceso, esto puede ser realizado en forma mecánica (creando vacío para favorecer el desprendimiento de oxígeno) o en forma química (adicionando secuestrantes de oxígeno como por ejemplo bisulfito de amonio).

**ENERGIZAR:** Este término se refiere a que se inicia la alimentación de energía eléctrica para la operación de un equipo o dispositivo que emplea esta energía para su funcionamiento.

**FLUSHING:** Es la limpieza que se realiza a todas las tuberías empleando el mismo fluido e incorporando filtros adicionales para remover impurezas, y los cuales serán retirados una vez realizado el lavado.

**INHIBIDOR DE CORROSIÓN:** Es un compuesto de naturaleza orgánica activo en presencia de oxígeno, que forma una película sobre el metal para protegerlo, mediante el proceso de adsorción.

**INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN:** Es un agente químico generalmente de origen orgánico aplicable a temperaturas por encima de los 150 °C para dar protección tanto superficial como subsuperficial a los equipos y tuberías.

---

**PERMISIVO:** Es la condición específica que tiene un elemento de control para efectuar una función determinada. Dicho de otra manera, es un elemento casi siempre un interruptor cuya posición (abierto/cerrado) va a permitir u obstaculizar la operación de un equipo de mayor importancia.

**PLENUM:** Es el área de admisión de gas o aire.

**QUENCHEO:** Se refiere al enfriamiento de gases de alta temperatura por medio de un compuesto líquido.

**SISTEMA DE CONTROL:** es un sistema computarizado compuesto por tableros locales que reciben todas las señales de los instrumentos de los equipos y red de tuberías localizados en campo, a su vez estos tableros centralizan las señales en el cuarto de control. Estos tableros analizan las señales de acuerdo a su programación y a su vez envían respuestas de control de manera automática para regular el proceso.

**STAND-BY:** Se refiere a la situación de espera que presenta un equipo, tubería o instrumento, que está listo para operar.

TABLA I ABREVIATURAS Y UNIDADES

ABK.	Abkatún.
CCM	Centro de control de motores.
c.n.	Condiciones normales.
c.s.	Condiciones estándar.
Col/ml.	Colonias por mililitro.
DFP.	Diagrama de Flujo de Proceso.
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación.
Ft <sup>3</sup> /min.	Pies cúbicos por minuto.
FFG	Tablero del generador de Flama.
°F	Grados Fahrenheit.
gpm	Galones por minuto.
HCl	Ácido clorhídrico.
HP	Caballos de fuerza.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico.
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Ácido Sulfuroso.
Km.	Kilómetros.
m	Metros.
MBPD	Miles de barriles por día.
mpy	Milésimas de pulgada por año.
NaOCl	Hipoclorito de sodio.
P.C.S.	Plataforma de control y servicios.
pH	Potencial de hidrógeno.
P.H.	Plataforma habitacional.
ppm	Partes por millón.
ppb	Partes por billón.
psi	Libras por pulgada cuadrada diferenciales.
psia	Libras por pulgada cuadrada absolutas.
psig	Libras por pulgada cuadrada manométricas.
P.T.B.	Plataforma de tratamiento y bombeo.
pulg <sup>2</sup> .	Pulgadas cuadradas.
SCD	Sistema de control distribuido.
STEL	Short Term Exposure Limit
TLV	Threshold Limit Value.
".	Pulgadas.
φ.	Diámetro
ΔP.	Presión diferencial.

TABLA II SIMBOLOGÍA DE INSTRUMENTOS

INSTRUMENTO CUYO SIMBOLO SE UTILIZA COMO SUFIJO DE UNA VARIABLE	
ALARMA DE ALTA	AH
ALARMA DE MUY ALTA	AHH
ALARMA DE BAJA	AL
ALARMA DE MUY BAJA	ALL
ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICIÓN	E
INDICADOR	I
INDICADOR CONTROLADOR	IC
REGISTRADOR	R
REGISTRADOR CONTROLADOR	RC
INTERRUPTOR DE ALTA	SH
INTERRUPTOR DE MUY ALTA	SHH
INTERRUPTOR DE BAJA	SL
INTERRUPTOR DE MUY BAJA	SLL
TRANSMISOR	T
VALVULAS DE CONTROL	V
CONVERTIDOR	Y
CONTROLADOR	C
INTERRUPTOR MANUAL	HS
LUZ INDICADORA	XL
VALVULAS SOLENOIDES	SV
VALVULAS DE CORTE	UV
BOTONES LOCALES	PB
SERVICIOS AUXILIARES	S.A

TABLA III SIMBOLOS DE LINEAS E INSTALACIONES DE INSTRUMENTOS

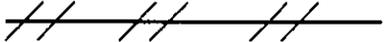
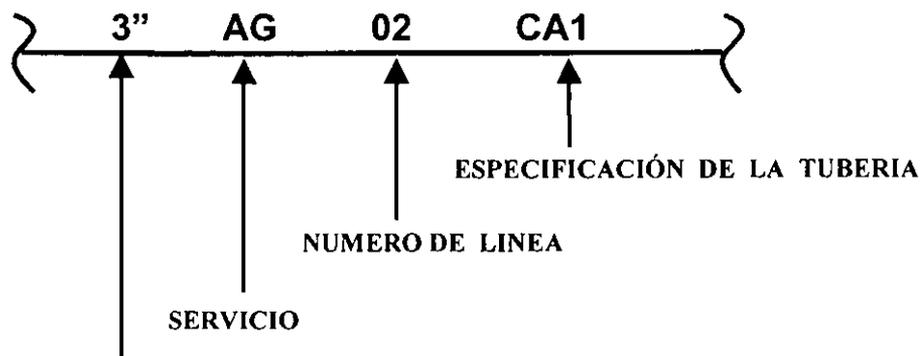
	LINEA DE PROCESO
	LINEA DE SERVICIOS
	SEÑAL NEUMATICA
	SEÑAL ELECTRICA
	SEÑAL ELECTRICA EN LA PARTE TRASERA DEL TABLERO
	INSTRUMENTO INSTALADO LOCALMENTE
	INSTRUMENTO INSTALADO EN TABLERO PRINCIPAL
	INSTRUMENTO INSTALADO EN LA PARTE POSTERIOR
	INSTRUMENTO INSTALADO EN TABLERO LOCAL
	TRANSDUCTOR DE SEÑAL ELECTRICA A NEUMATICA

TABLA IV CODIGO DE TUBERIAS



DIAMETRO DE LA TUBERIA EN PULGADAS

INDICE ALFABETICO DE SERVICIO

*PROCESO*

AG: GAS ACIDO  
 CG: GASES DE COMBUSTIÓN  
 SA: ACIDO SULFUROSO  
 SW: AGUA DE MAR FILTRADA

*SERVICIOS AUXILIARES*

CA: AIRE DE COMBUSTIÓN  
 DB: DESFOGUE  
 FG: GAS COMBUSTIBLE  
 FW: AGUA DE EMERGENCIA  
 IA: AIRE DE INSTRUMENTOS  
 OD: DRENAJE  
 UA: AIRE DE LA PLANTA

ESPECIFICACIÓN DE LA TUBERIA

1a. LETRA. RANGO DE PRESIÓN

Identificación	Libraje
C	150 #
P	300 #

2a. LETRA. MATERIALES EMPLEADOS

Identificación	Material
L	Acero al Carbón recubierto de polipropileno.
G	Acero al Carbón
A	Alloy 20

DIGITO. ESPESOR DE TOLERANCIA POR CORROSIÓN.

Identificación	Pulgadas.
1	0.05
2	0.065