



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE TUBERÍA E
INSTRUMENTACIÓN PARA UNA PLANTA DE ÁCIDO
NÍTRICO COMO APOYO A LA ENSEÑANZA EN LA
INGENIERÍA DE PROYECTOS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

CARLOS ADÁN MALDONADO SALAZAR

MÉXICO, D.F.

2015





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ
VOCAL: JUAN MARIO MORALES CABRERA
SECRETARIO: CARLOS ÁLVAREZ MACIEL
1er. SUPLENTE: ALMA DELIA ROJAS RODRÍGUEZ
2do. SUPLENTE: LUIS ÁNGEL MORENO AVENDAÑO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:
FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

M. en I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ

SUSTENTANTE:

CARLOS ADÁN MALDONADO SALAZAR

ÍNDICE

1	OBJETIVO	1
1.1	Objetivos Particulares	1
2	INTRODUCCIÓN	2
3	NORMAS Y ESTÁNDARES PARA LA ELABORACIÓN DE DTI'S.....	4
3.1	Identificación de Instrumentos.....	4
3.2	Identificación de Lazo.....	7
3.3	Símbolos	7
3.4	Símbolos de líneas de Instrumentos	10
3.5	Símbolos de válvulas	10
3.6	Accesorios y Tuberías.....	12
3.7	Dibujo del Diagrama.....	12
4	GUÍA PARA ELABORAR DTI	13
4.1	Información Requerida.....	13
4.1.1	Descripción del Proceso	14
4.1.2	Diagrama de Flujo de Proceso (DFP).....	14
4.1.3	Diagrama de Servicios Auxiliares	15
4.1.4	Hojas de Datos de Equipo	15
4.2	Filosofía de Operación	15
4.2.1	Arranque.....	16
4.2.2	Operación Normal.....	16
4.2.3	Paro Normal.....	17
4.2.4	Paro de Emergencia	17
4.2.5	Operaciones Peligrosas.....	18
4.3	Selección Material de Tuberías	18
4.3.1	Hierro y Acero.....	19

4.3.2	Aceros Inoxidables	20
4.3.3	Cobre y sus aleaciones	22
4.3.4	Carbono y grafito	22
4.3.5	Plásticos	22
4.4	Dimensionamiento de Tubería	23
4.5	Selección de Aislante y Cálculo de Espesor de Aislante.....	25
4.5.1	Clasificación de Aislantes Térmicos	26
4.5.2	Espesor de aislante	32
5	ELABORACIÓN DTI PARA PLANTA DE HNO ₃	37
5.1	Proceso de producción del ácido nítrico.....	38
5.2	Descripción del Proceso.....	41
5.3	Diagrama de Flujo de Proceso.....	44
5.4	Filosofía de operación	47
5.4.1	Arranque.....	47
5.4.2	Operación Normal.....	50
5.4.3	Paro Normal.....	54
5.4.4	Paro de Emergencia	55
5.5	Selección de materiales	55
5.6	Diámetro de tuberías.....	56
5.7	Aislamiento.....	57
5.8	HAZOP.....	58
6	CONCLUSIÓN	73
7	APÉNDICE I. TABLAS DE ESPESORES DE AISLANTES TÉRMICOS.....	74
8	LISTA DE TABLAS	80
9	LISTA DE FIGURAS	82
10	BIBLIOGRAFÍA.....	83

1 OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar un material de apoyo para el curso de Ingeniería de Proyectos, empleando como caso de estudio una planta de producción de Ácido Nítrico. Presentando la información requerida para la elaboración de un Diagrama de Tubería e Instrumentación, fundamentada en literatura especializada y normas relacionadas; finalizando con la presentación de un Diagrama de Tubería e Instrumentación para dicha planta.

1.1 Objetivos Particulares

- Proporcionar la simbología de instrumentación y accesorios empleados en la elaboración de Diagramas de Tubería e Instrumentación.
- Recabar la información mínima para llevar a cabo la realización del DTI.
- Plasmar una serie de puntos a seguir para obtener las filosofías de operación.
- La ejemplificación de un Diagrama de Tubería e Instrumentación.

2 INTRODUCCIÓN

Para lograr la materialización de un proyecto se requiere cubrir una serie de etapas, las cuales son: evaluación del proyecto, ingeniería básica e ingeniería de detalle.

La evaluación del proyecto consiste en determinar si será económicamente factible realizarlo ya que existen indicadores económicos que permiten saber que tan rentable es la inversión en dicho proyecto.

En ingeniería básica se definen los lineamientos generales del proyecto. Se elaboran planos y especificaciones técnicas de los procesos principales. Con los documentos generados en la ingeniería básica no se puede llevar a cabo la construcción.

Mediante la ingeniería de detalle se conjunta la documentación generada por la ingeniería básica e incluye los detalles constructivos de cada disciplina involucrada en el proyecto.

Algunos documentos generados dentro de la ingeniería básica son:

- Bases de Diseño.
- Criterios de Diseño.
- Descripción del Proceso.
- Diagrama de Flujo de Proceso (DFP).
- Hoja de Datos de Equipo.
- Filosofía de Operación.
- Diagrama de Tubería e instrumentación (DTI)

Los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) tienen como función indicar las conexiones entre los equipos que constituyen un proceso, así como la instrumentación que requiere el proceso para ser controlado, de tal manera que su funcionamiento sea de normal.

Para elaborar DTI's se requiere de documentos antecesores, con la información recabada se puede conocer:

- Servicios Auxiliares que requiere el proceso.

- Especificación de materiales para la construcción y compra de Equipos y Tuberías.
- Diámetro de Tuberías y Capacidad de Equipos.
- Requerimiento de Material Aislante en Tuberías y Equipos.

Los puntos anteriores estarán contenidos dentro del diagrama, en la ejecución de un proyecto intervienen diferentes ramas de ingeniería por lo cual el Diagrama de Tubería e Instrumentación tiene que ser comprendido por cualquier persona involucrada en el proyecto, para que esto sea posible existen normas las cuales tienen como función homogeneizar la nomenclatura y representación de los componentes del diagrama. Cabe señalar que no siempre se cumple con la simbología contenida en las normas, ya que en ocasiones el cliente o la persona encargada de elaborar el Diagrama de Tubería e Instrumentación puede proponer su propia simbología.

3 NORMAS Y ESTÁNDARES PARA LA ELABORACIÓN DE DTI'S

Debido a que el Diagrama de Tubería e Instrumentación debe ser comprendido por las disciplinas encargadas del proyecto es necesario tener una simbología, de esta manera será homogénea y comprensible. En el DTI se incluyen instrumentos, válvulas, líneas de proceso, líneas de servicios auxiliares y equipos, por lo que tienen que tener una identificación conocida como tag o nomenclatura.

3.1 Identificación de Instrumentos

Un instrumento se define como un dispositivo utilizado directamente o indirectamente para medir y/o controlar una variable. Incluyendo elementos primarios, elementos finales de control, dispositivos de computación y dispositivos eléctricos.

La funcionalidad de la identificación de un instrumento es señalar la variable asociada al instrumento (presión, temperatura, etc.) y la función que realiza el instrumento (controlador, indicador, etc.). Para llevar a cabo la identificación se utilizan combinaciones de letras. A continuación se ejemplificará la identificación de instrumentos.

TÍPICA IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS	
PIC-101	Identificación de Instrumento o Número de Tag.
P -101	Identificación de Lazo (Loop).
-101	Número de Lazo.
PIC-	Identificación Funcional.
P	Primera Letra.
IC	Letras Subsecuentes.

Tabla 1 Típica Identificación de Instrumentos.

Tag: Conjunto único de números y letras que identifican a cada elemento.

Lazo (Loop): Combinación de dos o más instrumentos o funciones de control dispuesto de manera que las señales pasen de uno a otro con el propósito de la medición y/o control de una variable de proceso.

La identificación funcional incluye una primera letra referida a la variable medida y una o más letras subsecuentes que describan las funciones del instrumento individual (Tabla 1).

El número de letras funcionales agrupadas por instrumento deberá mantenerse a un mínimo de acuerdo al juicio del usuario, tomando en consideración que el número total de letras dentro de un grupo no debe ser mayor a cuatro.

La identificación funcional de un instrumento deberá de ser de acuerdo a su función y no de acuerdo con la construcción.

Tabla 2 Letras para la identificación de instrumentos.

LETRAS DE IDENTIFICACIÓN					
	Primera Letra		Letras Subsecuentes		
Letra	Variable Medida	Modificador	Lectura o Función Pasiva	Función de Salida	Modificador
A	Análisis		Alarma		
B	Flama de Quemador		Definido por el Usuario	Definido por el Usuario	Definido por el Usuario
C	Conductividad Eléctrica			Control	
D	Densidad o Gravedad Específica	Diferencial			
E	Voltaje		Elemento Primario		
F	Flujo	Relación (Fracción)			
G	Calibre		Mirilla		
H	Manual				Alto
I	Corriente Eléctrica		Indicador		
J	Potencia	Muestreo			
K	Tiempo o Secuencia			Estación de Control	
L	Nivel		Luz (Piloto)		Bajo
M	Humedad				Medio o Intermedio
N	Definido por el Usuario		Definido por el Usuario	Definido por el Usuario	Definido por el Usuario
O	Definido por el Usuario		Orificio (Restricción)		
P	Presión o Vacío		Punto (Conexión de Prueba)		
Q	Cantidad o Evento	Totalizador			
R	Radioactividad		Registro o Impresión		
S	Velocidad o Frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisor	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Viscosidad			Válvula, Amortiguador	
W	Peso o Fuerza		Pozo		
X	No Clasificada		No Clasificada	No Clasificada	No Clasificada
Y	Definido por el Usuario			Relevar o Computar	
Z	Posición			Actuador, Elemento Final de Control	

3.2 Identificación de Lazo

La identificación de un lazo consiste de una primera letra y un número. Cada instrumento que compone un lazo tiene asignado el mismo número de lazo y en caso de numeración paralela, la misma primera letra. El lazo de instrumento tiene una única identificación. Si algún instrumento se encuentra integrado en dos o más lazos, puede llevar la identificación del lazo considerado como predominante. La numeración de los lazos puede ser paralela o serial.

- **Numeración paralela** consiste en iniciar con una secuencia numérica para cada primera letra nueva. Ejemplo TIC-100, FRC-100, LIC-100, etc.
- **Numeración serial** se refiere al uso de una secuencia simple de números a pesar de la primera letra de identificación de un lazo. Ejemplo TIC-100, FRC-101, LIC-102, etc.

Se puede empezar con cualquier número la identificación de un lazo e incluso puede incorporar información codificada, sin embargo se recomienda la simplicidad. En ocasiones un lazo tiene varios instrumentos con la misma función por lo cual se pueden añadir un sufijo al número de lazo. Ejemplo FV-2A, FV-2B, TE-25-1, TE-25-2, etc.

Existen instrumentos que pueden realizar dos o más funciones por lo cual puede ser designado por el conjunto de éstas. Ejemplo, un registrador de flujo con una pluma de presión puede ser designado FR-2/PR-4. La diagonal no necesariamente distingue dos dispositivos por separado.

3.3 Símbolos

Se mostrarán los símbolos que pretenden representar la instrumentación en los diagramas, la identificación típica para el instrumento dibujado o la interrelación funcional.

La burbuja se usa para etiquetar símbolos distintivos como válvulas de control, de ser requerido. En dichos casos la línea que conecta la burbuja hacia el símbolo del instrumento se dibuja cerca, pero sin tocar, el símbolo (representación de la válvula). En otros casos la burbuja sirve para representar el instrumento necesario.

Burbuja: Símbolo circular utilizado para denotar e identificar el propósito de un instrumento o función. Puede contener un tag.

El tamaño recomendado de la burbuja es de 10 mm, sin embargo el tamaño puede variar dependiendo del tamaño del Diagrama de Tubería e Instrumentación, número de caracteres que conforman el tag, tamaño de los símbolos (representación de válvulas, equipos, etc.) y del espacio disponible en el diagrama.

Para lograr la correcta interpretación de los DTI's, además de los requisitos generales para la claridad y legibilidad, los símbolos pueden ser dibujados en cualquier orientación. De igual manera, las líneas de señales (eléctricas, neumáticas, etc.) pueden ser dibujadas en un diagrama como entrada o salida de la parte apropiada de un símbolo en cualquier ángulo. Los bloques de función se dibujan con orientación horizontal y en la parte superior derecha, fuera de la burbuja. Además se deben indicar con flechas la dirección de las líneas de señalización para facilitar el entendimiento del lazo de control, el uso prudente de las flechas facilitan la comprensión del lazo.

La secuencia en que los instrumentos o funciones de un lazo están conectados en un diagrama debe de representar la lógica funcional o flujo de información. En general, una línea de señal es suficiente para representar las interconexiones entre los instrumentos en los diagramas a pesar de que físicamente pueden estar conectados por más de una línea.

El suministro eléctrico, neumático, u otro para el funcionamiento del instrumento no deben ser mostrados a menos que sea esencial para la comprensión de la operación del instrumento o lazo de control.

La burbuja puede indicar la localización del instrumento, a continuación se presentarán los símbolos.




















	INSTRUMENTO INSTALADO EN CAMPO		FUNCION DE COMPUTADORA NORMALMENTE NO ACCESIBLE AL OPERADOR
	INSTRUMENTO DETRAS DEL PANEL DE CONTROL		DISPOSITIVOS DETRAS DEL PANEL O FUNCIONES NORMALMENTE INACCESIBLES
	INSTRUMENTO COLOCADO EN TABLERO PRINCIPAL		FUNCION DE COMPUTADORA NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR
	INSTRUMENTO LOCALIZADO EN PANEL AUXILIAR		FUNCION DE COMPUTADORA AUXILIARMENTE COLOCADA
	INSTRUMENTOS A CONTROL DISTRIBUIDO NORMALMENTE NO ACCESIBLE AL OPERADOR		CONTROL LOGICO Y SECUENCIAL SIMBOLO GENERAL
	DISPOSITIVOS DETRAS DEL PANEL O FUNCIONES NORMALMENTE INACCESIBLES		CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE NORMALMENTE INACCESIBLE AL OPERADOR
	INSTRUMENTOS A CONTROL DISTRIBUIDO NORMALMENTE ACCESIBLES AL OPERADOR		DISPOSITIVOS DETRAS DEL PANEL O FUNCIONES NORMALMENTE ANACCESIBLES
	INSTRUMENTOS A CONTROL DISTRIBUIDO COLOCADOS EN PANELES AUXILIARES Y CON DISPOSITIVOS DE INTERFASE CON EL OPERADOR		CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR
	INSTRUMENTOS DE FUNCION DUAL		CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE AUXILIARMENTE COLOCADO
	BLOQUES DE FUNCION		

Figura 1 Simbología de localización de instrumentos.

Accesible: Término que se aplica a un dispositivo o una función que puede ser utilizado o ser visto por un operador con el fin de llevar a cabo acciones de control.

Detrás de panel: Término aplicado a un lugar que se encuentra dentro de un área que contiene el panel de instrumentos o se encuentra dentro del panel. No son accesibles para el uso normal del operador.

Controlador: Dispositivo que tiene una salida la cual varía para regular una variable controlada de una manera específica.

Tablero Principal (Estación de control): Estación de carga manual que también proporciona conmutación entre los modos manual y control automático de un lazo de control.

Campo (Local): La ubicación de un instrumento que no se encuentra dentro de un panel o consola, ni es montado en cuarto de control. Los instrumentos locales se encuentran comúnmente cerca de un elemento primario o un elemento final de control.

Panel (Tablero): Estructura que tiene un grupo de instrumentos montados en él, alberga la interfaz de mando del proceso, y se elige para tener una designación única. El panel Puede consistir en una o más secciones.

Elemento Primario (Sensor): Es la parte del lazo o instrumento que primero detecta el valor de una variable de proceso, y que a su vez suma un estado predeterminado de salida correspondiente.

3.4 Símbolos de líneas de Instrumentos

Debido a que existen diferentes tipos de señales involucradas en un lazo de control se deben diferenciar cada una de ellas en el diagrama.

—————	SUMINISTRO DE INSTRUMENTO O CONEXIÓN DEL PROCESOS
/// /// /// ///	SEÑAL NEUMÁTICA
- - - - -	SEÑAL ELÉCTRICA
- L - L - L - L - L - L -	SEÑAL HIDRAULICA
- X - X - X - X - X - X -	TUBO CAPILAR
— ~ — ~ — ~ — ~ — ~ —	SEÑAL ELECTROMAGNÉTICA O SÓNICA (CON ALAMBRADO O TUBING)
— ~ — ~ — ~ — ~ —	SEÑAL ELECTROMAGNÉTICA O SÓNICA (SIN ALAMBRADO O TUBING)
- o - o - o - o - o - o -	CONEXIÓN CON SOFTWARE

Figura 2 Simbología Líneas de Instrumentos

3.5 Símbolos de válvulas

Es importante representar las válvulas debido a que son los aparatos que generalmente se encargan de efectuar la acción de control, por lo cual se debe diferenciar cada tipo de válvula.

Una válvula es un aparato que regula, interrumpe o reestablece la circulación de fluidos en una tubería, pudiendo clasificarlas en:

- **Válvula de Aguja (Needle Valve):** Sirve para regular el flujo.
- **Válvula de Bola (Ball Valve):** Son utilizadas para dejar o interrumpir totalmente el fluido, su cierre es rápido debido a que con ¼ de vuelta se cierra o se abre la válvula.

- **Válvula de Compuerta (Gate Valve):** Se utiliza para dejar pasar o interrumpir el fluido y no está diseñada para regular el flujo por lo cual debe de estar totalmente abierta o totalmente cerrada.
- **Válvula de Globo (Globe Valve):** Es utilizada para regular el flujo, es de importancia saber que debido a su estructura la caída de presión es mayor a comparación de otro tipo de válvulas.
- **Válvula de Retención (Check Valve):** Son utilizadas para no dejar que el fluido regrese por la tubería.
- **Válvula de Mariposa (Butterfly Valve):** Se utilizan para abrir o cerrar totalmente el flujo, son menos pesadas en comparación con las válvulas de compuerta por lo que se pueden instalar en tuberías que no pueden soportar mucho peso.

Tipo de Válvula	Representación
Aguja	
Bola	
Compuerta	
Globo	
Retención	
Mariposa	

Figura 3 Simbología de Válvulas

Existen más tipos de válvulas, pero se pueden generalizar en las ya mencionadas.

3.6 Accesorios y Tuberías

En el DTI se puede observar las interconexiones entre equipos, en estas se pueden localizar accesorios, diferentes a las válvulas, por lo cual se deben de señalar en el dibujo. Existen diferentes maneras de interconectar equipos, esto dependerá del proceso, por lo que no solo se pueden interconectar con tubos, también puede ser con manguera, mediante bandas transportadoras, etc. Se debe distinguir cada una de las formas por lo que se simbolizan de diferentes maneras. Igualmente se debe de diferenciar una línea de proceso y una línea de servicios auxiliares, esto se hará dibujando la línea de proceso más gruesa en comparación de la línea de servicios auxiliares.

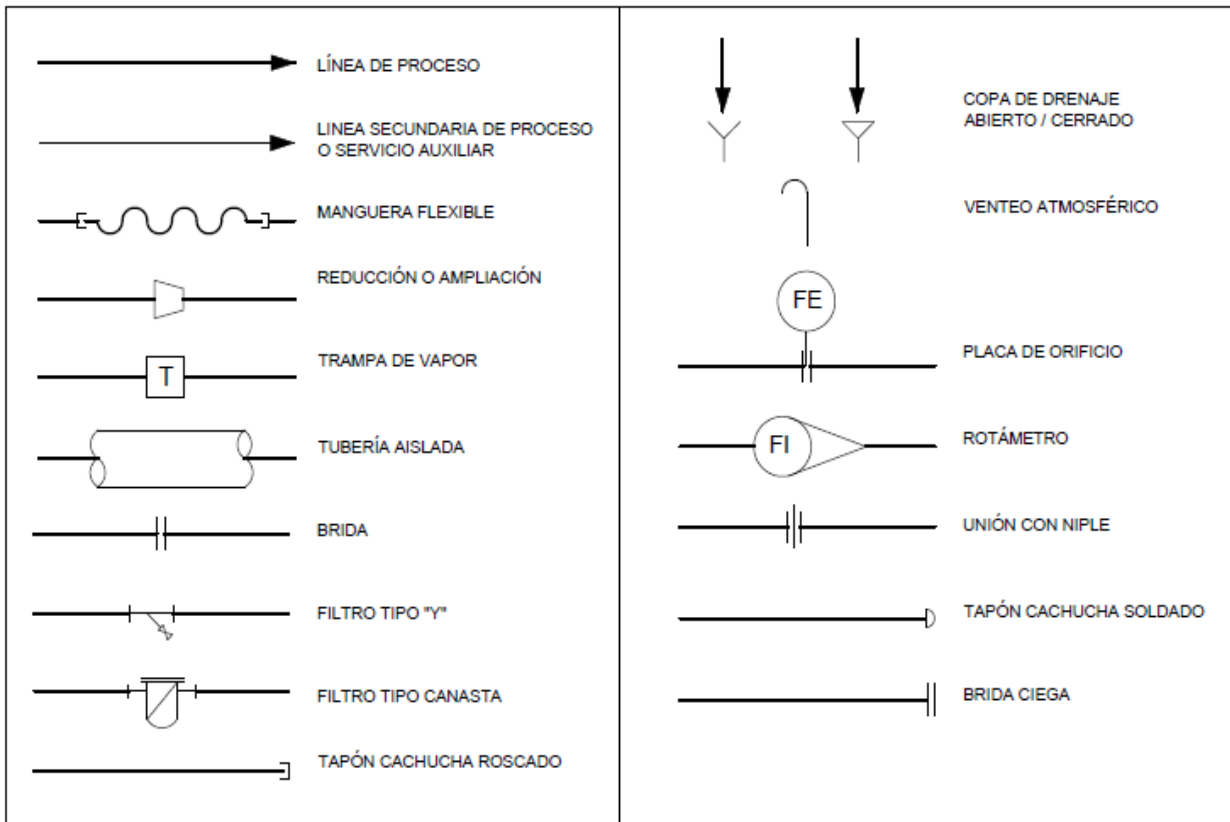


Figura 4 Simbología de Accesorios

3.7 Dibujo del Diagrama

Se presentarán algunos puntos que deberán ser tomados en cuenta para realizar el dibujo, con lo cual se facilitará la comprensión del diagrama.

- La simbología ocupada para representar algún elemento del diagrama tendrá que ser siempre la misma para todos los diagramas del mismo tipo o proyecto.
- La dirección de los flujos y elementos principales del diagrama deben de ser ubicados de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Cabe la posibilidad de no cumplir siempre este criterio.
- Se debe de tratar de evitar el número de quiebres en las líneas. Las líneas deberán ser principalmente horizontales, indicando de izquierda a derecha, y en caso de ser verticales, indicar flujos de arriba hacia abajo.
- En caso de existir cruzamientos de líneas, una de las líneas debe cortarse. Las líneas principales tienen preferencia sobre las líneas secundarias por lo que será cortada la línea secundaria, de igual manera las líneas horizontales tienen preferencia sobre las líneas verticales.

Es importante recalcar que la elaboración del diagrama depende del criterio de la persona que esté a cargo de generarlo.

4 GUÍA PARA ELABORAR DTI

A continuación se mostrará lo necesario para elaborar un Diagrama de Tubería e Instrumentación. Siendo ésta una manera progresiva, indicando los primeros requisitos para generar el diagrama y posteriormente los pasos para detallar dicho diagrama.

4.1 Información Requerida

Señalaremos que el inicio de un proyecto es marcado por los alcances de dicho proyecto, el documento que da apertura al proyecto son las Bases de Diseño donde estarán incorporados los alcances.

Los Criterios de Diseño es el documento que contemplará datos y valores considerados para el diseño de tuberías y equipos.

Para la realización del Diagrama de tubería e Instrumentación se requiere la Descripción del Proceso y el Diagrama de Flujo de Proceso. Al contar con estos documentos se podrá realizar el DTI, las Bases y Criterios de Diseño se

consultarán en caso de necesitar información no especificada en la Descripción del Proceso.

4.1.1 Descripción del Proceso

Se encuentra una explicación del proceso, la información requerida de este documento es la siguiente:

- La manera en la cual será suministrada la materia prima de los proveedores.
- La forma en la cual será almacenada la materia prima.
- Los equipos críticos, aquellos que puedan causar daños graves a la planta o al medio ambiente en caso de no funcionar de la manera requerida.
- Las condiciones de operación de los equipos.

Con esta información se completará el DTI en los siguientes aspectos:

- Al conocer la condición física en la cual será recibida la materia prima se indicará la forma en la cual será transportada a su almacenamiento.
- El número de equipos para almacenar la materia prima, de igual manera la capacidad que cada equipo tendrá.

4.1.2 Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)

En el DFP se encuentra la secuencia del proceso, por lo cual podemos observar:

- Los equipos que se requieren para llevar a cabo el proceso.
- Las temperaturas de entradas y salidas de materia al inicio del proceso, de los equipos involucrados en el proceso y la salida de materia del proceso.
- La presión a la cual serán sometidos los equipos y tuberías.
- Adicionalmente puede contener las propiedades principales de cada corriente: estado de agregación, propiedades fisicoquímicas y de transporte.

Esta información ayudará para la realización del DTI de la siguiente manera:

- Las temperaturas de las tuberías y equipos, con lo cual se sabrá si necesita aislamiento o algún otro requerimiento para mantener la condición que

requiere el proceso y la instrumentación requerida para mantener el proceso a la condición requerida.

- La presión a la cual serán sometidas las tuberías y equipos, de acuerdo a esto se calculará el espesor de la tubería y la instrumentación que requieran los equipos del proceso.

4.1.3 Diagrama de Servicios Auxiliares

Podremos observar en este documento el flujo de los servicios auxiliares como vapor, agua de enfriamiento, aire comprimido, etc.

Con la información recabada en dicho documento podremos obtener lo siguiente:

- Accesorios para líneas de Servicios Auxiliares, como trampas de vapor, drenajes, etc.
- Válvulas de control y seguridad.
- Líneas de purga.

4.1.4 Hojas de Datos de Equipo

La Hoja de Datos de Equipo contiene información que requiere el DTI, debido a que cuenta con la siguiente información, la cual tiene que estar contenida en el DTI:

- Características principales del equipo y sus dimensiones.
- Condiciones máximas y mínimas de presión y temperatura.
- Flujos máximos y mínimos, en caso de bombas y compresores.
- Número de boquillas del equipo.
- Material de construcción del equipo.
- Diagrama del equipo.

4.2 Filosofía de Operación

La filosofía de operación tiene como función indicar los pasos a seguir para llevar a cabo el arranque, la operación normal, el paro normal, paro de emergencia y las operaciones peligrosas de la planta.

De acuerdo a las diferentes filosofías de operación el Diagrama de Tubería e Instrumentación se completará para cubrir cada una de estas necesidades de operación.

En la elaboración de la filosofía de operación resaltarán las necesidades de incluir válvulas, válvulas de control, equipos de relevo, etc. Por lo cual se convierte en un paso importante para elaborar un DTI aprobado para construcción.

4.2.1 Arranque

La filosofía de arranque describirá cada paso necesario para que inicie el proceso, de esta manera se cubrirán las necesidades que requiere dicha operación.

Para el arranque se determina en primer lugar si será manual o automático.

A continuación se mencionarán los puntos con los cuales se iniciará la elaboración del Diagrama de Tubería e Instrumentación.

- Como inicio se tomará como base el Diagrama de Flujo de Proceso.
- Los servicios auxiliares tendrán que ser suministrados como primer paso, ya que se podrán requerir para iniciar el proceso, tomando en cuenta que existen casos en los cuales este servicio se debe proporcionar paulatinamente.
- Se tendrán que poner válvulas de acuerdo al criterio que tiene la persona encargada de elaborar el diagrama, estas pueden ir en las líneas de suministro de servicios auxiliares, en las entradas de servicios a equipos, etc.
- Se encontrará la necesidad de adicionar líneas de proceso, las cuales serán para el arranque, de acuerdo a la necesidad que tenga el proceso.
- De igual manera se necesitarán adicionar válvulas, como pueden ser en las entradas y salidas de equipos, en la división de líneas, etc.

4.2.2 Operación Normal

Posterior al arranque el proceso se estabilizará y se operará de manera normal, con lo cual se requiere instrumentación en equipos, líneas de proceso y líneas auxiliares.

Se describe la secuencia normal del proceso, de tal manera que se integre lo necesario para la operación normal. El Diagrama de Tubería e Instrumentación podrá completarse con los siguientes puntos.

- Colocar instrumentos necesarios para la operación de los equipos, como controladores, indicadores, etc.
- Equipos faltantes como bombas, tanques o equipos de relevo.
- En caso de ser necesario instalar bypass en compresores, bombas, líneas, etc.

4.2.3 Paro Normal

Se describen la secuencia de pasos a seguir para suspender el proceso, se tendrá que indicar las acciones para el apagado de equipos, la suspensión de servicios auxiliares, la suspensión de alimentación de líneas proceso, así como las acciones observables y medibles que indiquen que el proceso ha dejado de llevarse a cabo.

Algunas medidas a adoptar son las siguientes:

- Indicar motivos por los cuales un equipo puede dejar de operar.
- Suspensión de alimentación en líneas de proceso.
- Apagar equipos como bombas, compresores, etc. Los cuales transportan la materia para llevar a cabo el proceso.

4.2.4 Paro de Emergencia

El paro de emergencia surgirá al presentarse algún cambio de consideración de alguna variable que afecte el proceso, la ruptura de algún equipo o algún hecho que pueda provocar algún tipo de riesgo. Por lo cual se tiene que considerar casos en los cuales se puedan suscitar dichas ocasiones y mencionar las acciones para corregirlas.

- Ruptura de algún equipo, como tanques sujetos a presión, intercambiadores de calor, bombas, etc. Reportar la acción para solucionar el problema.

- Para la solución del problema se podrá considerar algunas opciones como suspensión de entrada de líneas de proceso y servicios auxiliares, poner en marcha algún equipo de relevo.
- En caso de que algún equipo aumente fuera de rango la presión y/o temperatura, se describirá qué hacer para volver a las condiciones normales.

4.2.5 Operaciones Peligrosas

Se llevará a cabo un análisis funcional de operatividad (HAZOP), la cual consiste en identificar los riesgos, accidentes o problemas de operación generados por la desviación de las variables de proceso, analizando sistemáticamente las causas y consecuencias de desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de palabras guías.

1. Definición del área de estudio: delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica.
2. Definición de nudos: se refiere a los subsistemas puntualizados claramente localizados en el área de estudio, los cuales pueden ser tuberías de alimentación, impulsión de una bomba, etc. Cada nudo estará caracterizado por las variables de proceso como la presión, temperatura, flujo, nivel, composición y viscosidad.
3. Definición de las desviaciones a estudiar: se planteará la desviación de las variables aplicando una palabra guía (no, más, menos, etc.) para cada nudo considerando todas las desviaciones que implican al utilizar cada palabra guía. Se deben aplicar todas las combinaciones posibles entre la palabra guía y la variable, descartando aquellas que no tengan sentido para un determinado nudo.

4.3 Selección Material de Tuberías

Cualquier diseño de ingeniería sólo es útil cuando se puede transportar a la realidad mediante el uso de materiales disponibles y los métodos de fabricación. La selección de materiales de construcción desempeña un papel importante en el

éxito o el fracaso de una nueva planta química o en la mejora de una instalación existente.

Como las plantas de procesos químicos operan a temperaturas elevadas y una medida de flujo para aumentar la capacidad y los rendimientos, la selección de materiales adquiere mayor importancia. Debido a las condiciones de operación más severas obligan a buscar materiales fiables y resistentes a la corrosión, ya que dichas condiciones intensifican la acción corrosiva. La abundancia de materiales complica la elección del mejor material, ya que en muchos casos una serie de aleaciones y plásticos tendrán suficiente resistencia a la corrosión para una aplicación particular.

Los materiales de construcción pueden dividirse en dos clasificaciones generales, metales y no metales. Los metales puros y aleaciones metálicas se incluyen en la primera clasificación.

4.3.1 Hierro y Acero

Existen materiales que tiene mayor resistencia a la corrosión que el hierro y el acero, los aspectos de costo favorecen el uso de hierro y acero. A menudo se utilizan como materiales de construcción cuando se sabe que algo de corrosión se producirá.

En general el hierro fundido y acero al carbón exponen la misma resistencia a la corrosión. No son adecuados para su uso con ácidos diluidos, pero se pueden utilizar con muchos ácidos fuertes, ya que una capa protectora compuesta de productos de la corrosión se forma en la superficie del metal.

Debido a los distintos tipos de productos de acero laminados y forjados para la industria, se necesitan especificaciones básicas para designar los distintos tipos. El Instituto Americano de Hierro y Acero (The American Iron and Steel, AISI) ha establecido una serie de normas para productos de acero; el sistema casi nunca se aplica a hojas, tiras, placas y material estructural debido a que los rangos de composición química de los aceros estándar son innecesariamente restrictivos para muchas aplicaciones.

Tabla 3 Nomenclatura AISI.

Aceros al Carbono	Descripción
10XX	No resultado, 1.00 Mn máx.
11XX	Resultado.
12XX	Resultado y refosforizado .
15XX	No resultado, sobre 1.00 Mn máx.
Aceros aleados	
13XX	1.75 Mn
40XX	0.20 o 0.25 Mo, o 0.25 Mo + 0.042 S
41XX	0.50, 0.80 o 0.95 Cr + 0.12, 0.20 o 0.30 Mo
43XX	1.83 Ni, 0.50-0.80 Cr, 0.25 Mo
46XX	0.85 o 1.83 Ni + 0.20 o 0.25 Mo
47XX	1.05 Ni, 0.45 Cr, 0.20 o 0.35 Mo
48XX	3.50 Ni + 0.25 Mo
51XX	0.80, 0.88, 0.93, 0.95 o 1.00 Cr
51XXX	1.03Cr
52XXX	1.45 Cr
61XX	0.60 o 0.95 Cr + 0,13 o 0.15 V min.
86XX	0.55 Ni, 0.50 Cr, 0.20 Mo
87XX	0.55 Ni, 0.50 Cr, 0.25 Mo
88XX	0.55 Ni, 0.50 Cr, 0.35 Mo
92XX	2.00 Si o 1.40 Si + 0.70 Cr
50BXX	0.28 o 0.50 Cr, 0.0005-0.003 B
81BXX	0.30 Ni, 0.45 Cr, 0.12 Mo, 0.0005-0.003 B
94BXX	0.45 Ni, 0.40 Cr, 0.12 Mo, 0.0005-0.003 B
<p>Los dos últimos dígitos indican el contenido de carbón en centésimas de porcentaje.</p> <p>En los aceros aleados los dos primeros dígitos indican los principales elementos de la aleación y sus rangos, en ocasiones se intercalan letras después de los dos primeros dígitos que indican otra característica.</p>	

4.3.2 Aceros Inoxidables

Estos materiales son aleaciones hierro con alto contenido de cromo o níquel-cromo con aleaciones que contienen pequeñas cantidades de otros componentes esenciales. Debido a sus propiedades resisten la corrosión y al calor.

Un enfoque preliminar para la selección de acero inoxidable para una aplicación específica es clasificar los diversos tipos de acuerdo con el contenido de la aleación, microestructura y características importantes.

Tabla 4 Aceros Inoxidables comúnmente utilizados en la industria.

Tipo	% Cr	% Ni	%C	Otros elementos importantes	Características principales	Propiedades	Aplicaciones
302	17.00- 19.00	6.00- 8.00	0.15		Tipo básico y general con buena resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas	Uso general.	Intercambiadores de calos, torres, tanques, tuberías, calentadores, equipos en general.
303	17.00- 19.00	8.00- 10.00	0.15	S 0.15 min	Mecanizado modificación del tipo 302, contiene azufre adicional.	Disponible para piezas que involucran una amplia mecanización.	Bombas, válvulas, instrumentos, accesorios.
304	18.00- 20.00	8.00- 12.00	0.08		Poca variación del tipo 302, minimiza la precipitación de carburos durante la soldadura.	Uso general. También disponible como 304L con 0.03% de C.	Intercambiadores de calor de coraza y tubos.
309	22.00- 24.00	12.00-15.06	0.20		Resistencia a altas temperatura.	Estas aleaciones muestran mayor resistencia a altas temperatura y corrosión.	Intercambiadores de calor, piezas de bombas,
310	24.00- 26.00	19.00-22.90	0.25		Mayor contenido de compuestos en la aleación mejora las características básicas del tipo 309.	Estas aleaciones muestran mayor resistencia a altas temperatura y corrosión.	Chaquetas a altas temperaturas, reactores sometidos a altas presiones.
316	16.00- 18.00	10.00-14.00	0.08	Mo 2.00-3.00	Mo mejora la resistencia a la corrosión y resiste altas temperatura.	Resistente a la corrosión. También disponible como 316L para la construcción soldada.	Equipos de destilación para producir ácidos grasos.
416	12.00- 14.00		0.15	S 0.15 min	El azufre añadido mejora el mecanizado del tipo 410.	Resistentes a la corrosión y resistencia mecánica.	Vástagos de válvulas, tapones.

4.3.3 Cobre y sus aleaciones

El cobre posee una resistencia mecánica razonable y puede ser fabricado fácilmente en diversas formas. Es soluble en la mayoría de los ácidos por lo que no es un material adecuado cuando estará en contacto con cualquier ácido, agentes oxidantes u oxígeno. El cobre presenta buena resistencia a la corrosión de álcalis fuertes, a excepción del hidróxido de amonio. A temperatura ambiente se puede manejar hidróxido de sodio y potasio en todas sus concentraciones. Es resistente a disolventes más orgánicos y disoluciones acuosas de ácidos orgánicos.

Las aleaciones de cobre como el latón, bronce y el metal Muntz, pueden presentar una mejor resistencia a la corrosión y mejores propiedades mecánicas que el cobre puro. En general las aleaciones con alto contenido de zinc no deben utilizarse en presencia de ácidos o álcalis, debido a la posibilidad de pérdida de zinc. La mayoría de las aleaciones bajas en zinc son resistentes a los álcalis diluidos calientes.

4.3.4 Carbono y grafito

En general son impermeables, inertes siendo sometidos a las condiciones oxidantes más graves y su excelente transferencia de calor ha hecho que el carbón y grafito sean usados en intercambiadores de calor, bombas y tuberías. Las temperaturas a las cuales se empieza a presentar la oxidación son 350°C para el carbono y 400°C para el grafito.

4.3.5 Plásticos

En comparación con los materiales metálicos, el uso de plásticos se limita a temperaturas y presiones relativamente moderadas. Son menos resistentes al abuso mecánico y presentan altas tasas de expansión, sin embargo son de peso ligero, son buenos aislantes térmicos y eléctricos, son fáciles de instalar y tienen factores de fricción baja.

Generalmente los plásticos presentan una excelente resistencia a los ácidos orgánicos y no son afectados por soluciones salinas inorgánicas, donde los metales no son completamente adecuados. Los plásticos ofrecen otra ventaja

sobre los metales, los plásticos no se corroen electroquímicamente, no son afectados por ligeros cambios en el pH o impurezas.

4.4 Dimensionamiento de Tubería

El tamaño de las tuberías se basa en diámetros aproximados y se reportan con tamaños de tuberías nominales. Aunque el espesor de la pared varía en función del número de cédula, el diámetro exterior de cualquier tubo que tiene un tamaño nominal dado es constante e independiente del número de cédula.

Para seleccionar el diámetro de la tubería se deben de tomar en cuenta aspectos como la velocidad que llevará el fluido y el flujo que tendrá.

Existen diferentes datos y métodos que facilitan la obtención del diámetro de tubería. A continuación se presentarán velocidades típicas de tubería y caídas de presión permisibles, que pueden ser utilizados para estimar tamaños de tubería.

Densidad del fluido (Kg/m ³)	Velocidad (m/s)
1600	2.4
800	3.0
160	4.9
16	9.4
0.16	18.0
0.016	34.0

La velocidad máxima debería mantenerse por debajo de aquella que probablemente cause erosión en la tubería.

En el caso de los gases y vapores la velocidad no puede superar la velocidad crítica (velocidad del sonido) y normalmente se limita al treinta por ciento de la velocidad crítica.

Para estimar el diámetro de tubería se realizarán los siguientes pasos:

Se convertirá el flujo másico a flujo volumétrico.

$$\text{Flujo volumétrico} = \frac{\text{Flujo másico}}{\text{Densidad del fluido}}$$

Calcular el área de flujo se ocupará una velocidad estimada para el tipo de fluido.

$$\text{Área de flujo} = \frac{\text{Flujo volumétrico}}{\text{Velocidad del fluido}}$$

Para obtener el diámetro de la tubería se ocupará la siguiente ecuación.

$$\text{Diámetro de tubería} = \left(\frac{4 \cdot \text{Área de flujo}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Las tuberías se especifican en función del espesor de su pared, la siguiente ecuación se podrá calcular el espesor de diseño mínimo requerido.

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C$$

D_0 = Diámetro exterior de la tubería [in]

C = Margen dejado para la corrosión [in]

E = Factor longitudinal de la junta soldada.

t_m = Espesor mínimo requerido [in]

P = Presión de diseño $\left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right]$

Y = Coeficiente del material. 0.4 materiales no ferrosos dúctiles y 0 materiales frágiles.

S = Esfuerzo permisible $\left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right]$

La temperatura y la presión de diseño se consideran como la combinación máxima esperada de presión y temperatura de operación, que dan como resultado el espesor máximo. Las condiciones de operación aumentadas temporalmente generan que las válvulas de purga tengan fugas o se habrá completamente.

Tabla 5 Velocidades Sugeridas de Fluidos en Tuberías. Líquidos, gases y vapores a baja presión hasta 50psig y 50-100°F.

VELOCIDADES SUGERIDAS DE FLUIDOS EN TUBERÍAS					
Fluido	Velocidad sugerida	Material de Tubería	Fluido	Velocidad sugerida	Material de Tubería
Acetileno	4000 ft/min	Acero	Gas Natural	6000 ft/min	Acero
Aire, 9 a 30 psig	4000 ft/min	Acero	Aceites, Lubricantes	6 ft/s	Acero
Amoniaco			Oxígeno	1800 ft/min Máx.	Acero 300 psig Máx.
Líquido	6 ft/s	Acero			
Gas	6000 ft/min	Acero	Propilenglicol	5 ft/s	Acero
Benceno	6 ft/s	Acero	Hidróxido de Sodio		
Bromo			0-30%	6 ft/s	Acero, Ni
Líquido	4 ft/s	Vidrio	30-50%	5 ft/s	Acero, Ni
Gas	2000 ft/min	Vidrio	50-73%	4 ft/s	Acero, Ni
Cloruro de Calcio	4 ft/s	Acero	Solución de Cloruro de Sodio		Acero
			Sin sólidos	5 ft/s	
Tetracloruro de Carbono	6 ft/s	Acero	Tetracloroetileno	6 ft/s	Acero
Cloro (seco)			Vapor		
Líquido	5 ft/s	Acero, Céd 80	0-30psi Saturado	4000-6000 ft/min	Acero
Gas	2000-5000 ft/min	Acero, Céd 80	30-150psi Saturado o Sobrecalentado	6000-10000 ft/min	Acero
			Más de 150psi Sobrecalentado	6500-15000 ft/min	Acero
Cloroformo			Ácido Sulfúrico		
Líquido	6 ft/s	Cobre, Acero	88-93%	4 ft/s	Plomo
Gas	2000 ft/min	Cobre, Acero	93-100%	4 ft/s	Acero, Céd 80
Etileno gas	600 ft/min	Acero	Dióxido de Azufre	4000 ft/min	Acero
Dibromuro de etileno	4 ft/s	Vidrio	Estireno	6 ft/s	Acero
Dicloruro de etileno	6 ft/s	Acero	Tricloroetileno	6 ft/s	Acero
Etilenglicol	6 ft/s	Acero	Cloruro de Vinilo	6 ft/s	Acero
Hidrógeno	4000 ft/min	Acero	Cloruro de Vinilideno	6 ft/s	Acero
Cloruro de Metilo			Agua		
Líquido	6 ft/s	Acero	Servicio Alimentación de Caldera	3-8 ft/s	Acero
Gas	4000 ft/min	Acero	Succión de Bomba	4-12 ft/s	Acero
				1-5 ft/s	Acero

4.5 Selección de Aislante y Cálculo de Espesor de Aislante

Un material aislante o termoaislante es aquel que posee baja conductividad térmica y que por tanto presenta una gran resistencia al paso de calor. La utilidad

del aislante se refleja económicamente ya que evitará la transmisión de calor al medio ambiente, el cual será una pérdida energética en caso de no estar aislada la tubería, de igual manera el aislante térmico representa una protección para el personal que pueda estar accidentalmente en contacto con las superficies calientes.

Los materiales termoaislantes deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Deben ser resistentes al paso de calor dentro del rango de temperatura especificado.
- No deben ser corrosivos para la superficie del metal donde se instalará.
- Su manejo no debe causar daños al personal por lo que no deben de ser tóxicos y no deben ser clasificados como cancerígenos.
- Deben ser resistentes a bacterias y hongos.
- Deben evitar el uso de materiales higroscópicos, ya que la presencia de agua genera soluciones de sustancias arrastradas por el vapor ambiental como cloruros, nitratos y sulfatos, provocando corrosión sobre el acero al carbón y acero inoxidable.

4.5.1 Clasificación de Aislantes Térmicos

Los materiales termoaislantes se clasifican de acuerdo a sus tipos genéricos, formas de presentación y aplicación. El tipo de termoaislante indica la composición y su estructura interna.

Se clasifican en:

- Aislantes térmicos de fibras minerales
- Aislantes térmicos celulares
- Aislantes térmicos granulados

4.5.1.1 Aislantes térmicos fibras minerales.

Materiales procesados a partir del estado de fusión de roca, escoria o vidrio, y convertidos a fibra con un procedimiento de centrifugado a alta velocidad, a través de dados de estirado o la combinación de ambos. Las fibras están distribuidas de modo multidireccional y dividen finamente el espacio de aire. Pueden o no estar unidas entre sí.

Los materiales fibrosos más usados son lana de roca, lana de escoria y fibra de vidrio, deben reunir las siguientes características:

- Máximo contenido de cloruros solubles: 60 ppm
- Máximo contenido de material no convertido a fibra sobre malla No.100 US: 25.0%
- Máximo contenido de aceites: 1.0%

La lana de roca es un termoaislante hecho a partir del estado de fusión de roca tipo basáltica, con alto contenido de aluminio y silicatos. Según su proceso de manufactura tiene dos formas de presentación, una forma es la que contiene glutinantes orgánicos y la otra forma contiene aceites minerales.

Tabla 6 Propiedades de la lana de roca.

PROPIEDADES DE LA LANA DE ROCA				
Características Especificación ASTM o equivalente	Colcha ASTM C 592 Tipo II	Preformado ASTM C547 Tipo II	Placas/Tabla ASTM C612 Tipo V	Cemento ASTM C449
Temperatura máxima de uso ASTM C411	649°C	649°C	982°C	649°C
Densidad ASTM C167/C302/C303	96 a 192 kg/m ³ ASTM C167	112 a 128 kg/m ³ ASTM C302	250 a 260 kg/m ³ ASTM C303	---
Absorción de vapor de agua, máxima ASTM C1104	5%	5%	5%	---
Índice de propagación de flama, máxima. ASTM E84 o UL723	25	25	25	---
Índice de producción de humo ASTM E84 o UL723	50	50	50	---
Corrosión Acero inoxidable ASTM C795	Nula	Nula	Nula	Nula
Contenido máximo de cloruros ASTM C795	60 ppm	60 ppm	60 ppm	60 ppm
Contenido máximo de material no convertido a fibra ("shot") sobre malla No.100 US ASTM C1335	25,0 %	25,0 %	25,0 %	---
Contenido máximo de aceite. (Pérdidas por ignición)	1,0 %	---	---	---
Azufre máximo	1,5 %	1,5 %	1,5 %	---
pH	7.5 a 9.5	7.5 a 10	7.5 a 10	

Tabla 7 Dimensiones de la lana de roca.

DIMENSIONES DE LA LANA DE ROCA				
Dimensiones Especificación ASTM o equivalente	Colcha ASTM C592	Preformado ASTM C585	Placas ASTM C612 Tabla 2	Dimensiones Especificación ASTM o equivalente
Espesor	25 a 102 mm (1 a 4 in)	25 a 102 mm (1 a 4 in)	25 a 76 mm (1 a 3 in) *	Espesor
Incrementos de espesor	13 mm (½ in)	13 mm (½ in)	13 mm (½ in)	Incrementos de espesor
Largo	2 440 mm (8 ft) **	914 mm (3 ft)	1 220 mm (4 ft)	Largo
Ancho	610 mm (2 ft)	---	305 mm (1 ft)	Ancho
Diámetro nominal	---	15 a 750 DN (½ a 30 NPS)	---	Diámetro nominal

*Todos los espesores mayores a 1 in se pueden producir por capas.
 **El largo de acuerdo al diámetro exterior de la tubería.

La fibra de vidrio está hecha a partir del estado de fusión de una mezcla de arenas con alto contenido de sílice. De acuerdo al proceso de manufactura se presenta en dos formas, una forma presenta glutinantes orgánicos y la otra forma contiene aceites minerales.

Tabla 8 Propiedades de la fibra de vidrio.

PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO		
Características Especificación ASTM o equivalente	Colcha ASTM C 592 Tipo I	Cañuela preformada ASTM C547 Tipo I
Temperatura máxima de uso ASTM C411	454°C	454°C
Densidad ASTM C167/C302/C303	96 kg/m3 mínima ASTM C167	80 a 96 kg/m3 ASTM C302
Absorción de vapor de agua, máxima ASTM C1104	5%	5%
Índice de propagación de flama, máxima. ASTM E84 o UL723	25	25
Índice de producción de humo ASTM E84 o UL723	50	50
Corrosión Acero inoxidable ASTM C795	Nula	Nula
Contenido máximo de cloruros ASTM C795	60 ppm	60 ppm

Tabla 9 Dimensiones de la fibra de vidrio.

DIMENSIONES DE LA FIBRA DE VIDRIO		
Dimensiones Especificación ASTM o equivalente	Colcha ASTM C592	Cañuela preformada ASTM C585
Espesor	25 a 102 mm (1 a 4 in)	25 a 76 mm (1 a 3 in)
Incrementos de espesor	13 mm (½ in)	13 mm (½ in)
Largo	2440 mm (8 ft)	915 mm (3 ft)
Ancho	610 mm (2 ft)	- - -
Diámetro nominal	- - -	15 a 750 DN (½ a 30 NPS)
Todos los espesores mayores a 1 in se pueden producir por capas.		

4.5.1.2 Aislantes térmicos celulares.

Compuesto por pequeñísimas celdas individuales separadas entre sí. El material celular puede ser vidrio o plástico espumado. Los termoaislantes más usados son: vidrio espumado, poliestireno expandido, poliuretano, elastómeros y poliisocianurato.

La espuma de vidrio debe tener las siguientes características:

- Impermeabilidad total al agua y vapor de agua.
- Resistencia a los ácidos, álcalis y sus derivados, excepto al ácido fluorhídrico,
- Capilaridad: 0.0
- Higroscopia: 0.0 a 90% de humedad relativa.
- Resistencia a la compresión: 7.04 kg/cm².

Las espumas plásticas deben tener las siguientes características:

- Densidad baja y uniforme.
- Baja absorción de agua.
- Contenido mínimo de celda cerrada: 90%
- Estabilidad dimensional en sus condiciones de operación, con una dilatación lineal menor a 2%.

4.5.1.3 Aislantes térmicos granulares.

Compuestos por nódulos que contiene espacios vacíos. No son considerados celulares debido a que el gas (aire) puede transitar entre los espacios individuales. Son combinados con fibras de refuerzo con lo que consiguen rigidez, estructura y preforma. Los más comúnmente usados son: vermiculita expandida, perlita expandida, tierra diatomácea y silicato de calcio.

Deben reunir las siguientes características.

- Mínimo 20 ppm de silicato de sodio por cada ppm de cloruros solubles.
- pH mínimo: 8.5
- Contenido de fibras de asbesto: 0%

La perlita expandida está fabricada a partir de un silicato complejo de tipo ígneo llamado perlita, cuya forma granular se expande por la explosión que produce la humedad contenida en la molécula al exponerse repentinamente a alta temperatura. El producto expandido de la perlita crea una estructura celular de celdas de aire rodeadas de material vitrificado.

Tabla 10 Propiedades de la perlita expandida.

PROPIEDADES DE LA PERLITA EXPANDIDA		
Características Especificación ASTM o equivalente	Cañuela preformada ASTM C 610	Placa/ Tabla ASTM C 610
Temperatura máxima de uso ASTM C411	649°C	649°C
Densidad Mínima	160 kg/m ³	160 kg/m ³
Densidad Máxima ASTM C302/C303	224 kg/m ³ ASTM C302	224 kg/m ³ ASTM C303
Resistencia a la compresión en 5% de deformación mínima ASTM C165	483 kPa	483 kPa
Máxima humedad contenida, % en peso ASTM C1616	10%	10%
Absorción en agua, después de calentarse a 316°C e inmersión en agua por 48 horas, % en peso ASTM C209	50%	50%
Índice de propagación de flama, máxima. ASTM E84	0	0
Índice de producción de humo ASTM E84	5	5
Corrosión Acero inoxidable ASTM C795	Nula	Nula
Contenido máximo de cloruros	100 ppm	
Proporción de silicato de sodio a cloruros	20 a 1	
pH	8.5 mínimo	

Tabla 11 Dimensiones de la perlita expandida.

DIMENSIONES DE LA PERLITA EXPANDIDA		
Dimensiones Especificación ASTM o equivalente	Cañuela preformada ASTM C585/C450	Placa ASTM C610
Espesor	25 a 102 mm (1 a 4 in)	38 a 152 mm (1½ a 6 in) *
Incrementos de espesor	13 mm (½ in)	13 mm (½ in)
Largo	914 mm (3 ft)	914 mm (3 ft)
Ancho	---	152 mm (6 in) 305 mm (12 in) 457 mm (18 in)
Diámetro nominal Espesor mínimo	Hasta 150 DN (6 NPS) 25 mm (1 in)	---
Diámetro nominal Espesor mínimo	Hasta 350 DN (14 NPS) 38 mm (1.5 in)	---
Diámetro nominal Espesor mínimo	Hasta 450 DN (18 NPS) 51 mm (2 in)	---
	Diámetros mayores usar segmentos	---
*Todos los espesores mayores a 1 in se pueden producir por capas.		

El silicato de calcio está hecho a partir de silicato de calcio hidratado reforzado con fibras orgánicas e inorgánicas y moldeado en formas rígidas. Es un material que absorbe agua, por lo que su uso se recomienda a temperaturas superiores a los 250°C.

Tabla 12 Propiedades del silicato de calcio.

PROPIEDADES DEL SILICATO DE CALCIO		
Características Especificación ASTM o equivalente	Preformado ASTM C533 Tipo I	Placas ASTM C533 Tipo I
Temperatura máxima de uso ASTM C411	649 °C	649 °C
Densidad Máxima ASTM C302/C303	240 kg/m ³ ASTM C302	240 kg/m ³ ASTM C303
Resistencia a la flexión, mínima ASTM C203	344 kPa	344 kPa
Resistencia a la compresión en 5% de deformación mínima ASTM C165	---	688 kPa
Máxima humedad contenida, % en peso ASTM C1616	20%	20%
Índice de propagación de flama, máxima ASTM E84	0	0
Índice de producción de humo ASTM E84	0	0
Corrosión Acero inoxidable ASTM C795	Nula	Nula
Contenido máximo de cloruros	200 ppm	
Proporción de silicato de sodio a cloruros	20 a 1	
pH	9 a 10	

Tabla 13 Dimensiones del silicato de calcio.

DIMENSIONES DEL SILICATO DE CALCIO		
Dimensiones Especificación ASTM o equivalente	Cañuela preformado ASTM C585/C450	Placa ASTM C533 Tipo I
Espesor	25 a 75 mm (1 a 3 in)	25 a 75 mm (1 a 3 in) *
Incrementos de espesor	13 mm (½ in)	13 mm (½ in)
Largo	914 mm (3 ft)	914 mm (3 ft)
Ancho	---	152 mm (6 in) 305 mm (12 in)
Diámetro nominal Espesor mínimo	Hasta 150 DN (6NPS) 25mm (1 in)	
Diámetro nominal Espesor mínimo	Hasta 350 DN (6 NPS) 38mm (1.5in)	
	Diámetros mayores usar segmentos	
*Todos los espesores mayores a 1 in se pueden producir por capas.		

4.5.2 Espesor de aislante

La pérdida de calor de una tubería al ambiente se podrá reducir con la implantación de un aislante, parecerá que al aumentar el grosor del aislante se reducirá la transferencia de energía hacia el ambiente pero a medida que el grosor del aislante aumenta el área de transferencia también lo hará incrementando la pérdida de calor.

Debido a esto se tiene que calcular el radio crítico. Si el radio externo es menor al radio crítico, la transferencia de calor se incrementará adicionando más aislante. Para radios externos menores al radio crítico, el incremento en el espesor del aislante reducirá la transferencia de calor. Para valores del coeficiente de transferencia de calor pequeño la pérdida de calor puede incrementarse al adicionar aislante.

Se deberá mantener el radio crítico lo más pequeño que sea posible lo cual se logra utilizando un material aislante de baja conductividad de manera que el radio crítico sea menor que el radio de la tubería.

$$r_0 = \frac{k}{h}$$

$r_0 =$ Radio crítico
 $h =$ Coeficiente transferencia de calor
 $k =$ Conductividad térmica

La máxima transferencia de calor de un sistema al ambiente resulta de un balance económico con respecto al espesor del aislante, costo de los componentes del sistema termoaislante y los costos de energía térmica.

Se establece la máxima transferencia de calor permisible por pérdida o ganancia de energía al medio ambiente, dependiente de la superficie aislada y la temperatura de operación.

A continuación se presenta la forma de obtener la transferencia de calor de una tubería hacia el medio ambiente

Cálculo del diámetro aislado:

$$D_a = D_0 + 2E$$

$D_a =$ Diámetro aislado [m]
 $D_0 =$ Diámetro exterior [m]
 $E =$ Espesor del material aislante [m]

La conductividad térmica se determina en función de la temperatura media.

$$T_m = \frac{T_{op} + T_s}{2}$$

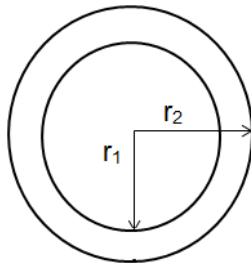
$T_m =$ Temperatura media [K]
 $T_s =$ Temperatura de la superficie [K]

La temperatura de la superficie es desconocida debido a que es consecuencia de la transferencia de calor que aún se desconocida, se supondrá una temperatura que cumpla la siguiente condición $T_{op} \gg T_s > T_a$.

Transferencia de calor en tuberías:

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{\frac{E_{eq}}{k} + \frac{1}{f}}$$

$$E_{eq} = \frac{r_2}{r_1} \ln \left[\frac{r_2}{r_1} \right]$$



$$Q = \text{Flujo de calor} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$T_{op} = \text{Temperatura de operación} [K]$$

$$T_a = \text{Temperatura ambiente} [K]$$

$$k = \text{Conductividad térmica} \left[\frac{W}{mK} \right]$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

$$f = \text{Coeficiente global de transferencia de calor} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

$$f = h_c + h_r \quad h_c = \text{Coefi. transf. calor por convección natural y forzada} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

$$h_r = \text{Coef. transf. calor por radiación} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

$$h_c = 3.0075 \cdot C \cdot D_a^{-0.2} \left[\frac{1.11}{T_s + T_a} \right]^{0.181} [1.8(T_s - T_a)]^{0.266} [7.9366 \times 10^{-4} \cdot V]^{0.5}$$

$$h_r = 0.9824 \times 10^{-8} \cdot e \left[\frac{T_a^4 - T_s^4}{T_s - T_a} \right]$$

$C =$ Coeficiente de forma, 1.016 para tuberías.

$V =$ Velocidad del viento $\left[\frac{m}{h} \right]$

$e =$ Emisividad de la superficie aislada.

Obtención del flujo de calor (Q) y se calculará la temperatura de la superficie:

$$T_{S1} = \frac{Q}{f} + T_a \quad T_{S1} = \text{Temperatura de la superficie calculada} [K]$$

Calcular la diferencia entre la temperatura de la superficie supuesta y la temperatura de superficie calculada.

$$T_{S1} - T_s \cong 0$$

Se realizarán sucesivas iteraciones hasta cumplir con la condición, el valor de la temperatura de la superficie calculada sustituirá el valor de la temperatura supuesta de la superficie para la obtención de la temperatura media.

El espesor óptimo se determina por consideraciones económicas, a menor pérdida de calor el espesor del aislante aumenta siendo así mayor el costo inicial y mayores cargos fijos anuales, adicionando las pérdidas de calor anuales. Los cargos fijos anuales del aislante oscilan entre un 15 a 20% del costo inicial del aislante instalado. Al suponer una cantidad de espesor de aislante y adicionando

los cargos fijos al valor de la pérdida de calor, dará como resultado un costo mínimo y el espesor correspondiente será el espesor óptimo del aislante.

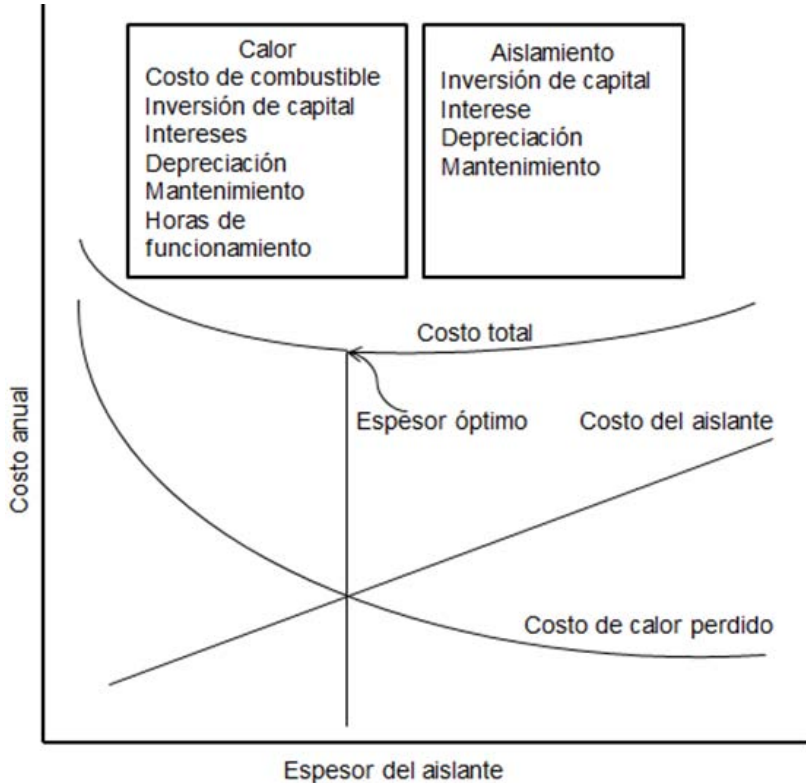


Figura 5 Diagrama de determinación del espesor óptimo de aislante.

Tabla 14 Máxima transferencia de calor permisible a través del sistema termoaislante. [W/m] para tuberías y [W/m²] para superficies planas.

MÁXIMA TRANSFERENCIA DE CALOR PERMISIBLE A TRAVÉS DEL SISTEMA TERMOAISLANTE													
Temperatura de operación K (°C)													
Diámetro Nominal mm (in)	Hasta 333 (60)	Hasta 373 (100)	Hasta 423 (150)	Hasta 473 (200)	Hasta 523 (250)	Hasta 573 (300)	Hasta 623 (350)	Hasta 673 (400)	Hasta 723 (450)	Hasta 773 (500)	Hasta 823 (550)	Hasta 873 (600)	Hasta 923 (650)
15 (1/2)	4.80	10.17	15.83	23.58	30.83	40.83	57.39	65.22	76.52	88.18	100.91	115.74	130.56
20 (3/4)	5.60	11.02	17.50	26.02	34.17	41.67	59.13	71.30	83.48	95.45	110.00	125.93	141.67
25 (1)	6.40	12.71	20.00	29.27	38.33	46.67	65.22	78.26	87.83	105.45	120.91	131.48	148.15
40 (1 ½)	8.00	15.25	24.17	32.52	41.67	55.83	73.91	87.83	103.48	118.18	134.55	155.56	174.07
50 (2)	9.60	17.80	27.50	36.59	47.50	58.33	82.61	98.26	103.48	125.45	142.73	164.81	185.19
75 (3)	12.80	22.03	35.83	46.34	60.00	72.50	94.78	113.91	126.09	152.73	174.55	191.67	214.81
100 (4)	15.20	23.73	36.67	48.78	64.17	85.00	103.48	124.35	145.22	176.36	190.91	220.37	247.22
150 (6)	16.00	28.81	48.33	64.23	79.17	95.00	116.52	140.87	151.30	191.82	217.64	246.30	288.85
200 (8)	26.40	36.44	54.17	76.42	86.67	115.00	140.00	155.77	180.87	212.73	245.07	291.67	325.54
250 (10)	32.00	43.22	64.17	81.30	102.50	123.33	151.30	173.91	211.30	250.91	283.31	321.30	375.46
300 (12)	37.60	50.00	74.17	93.50	117.50	140.83	172.17	197.39	240.00	266.36	319.09	362.04	403.42
350 (14)	40.80	54.24	80.00	101.63	126.67	151.67	185.22	212.17	253.04	285.45	322.73	387.96	430.45
400 (16)	46.40	61.02	90.00	113.82	140.83	169.17	206.09	235.65	266.09	315.45	356.36	405.56	473.15
450 (18)	45.60	67.80	100.00	125.20	155.83	186.67	226.09	259.13	292.17	345.45	390.00	443.52	493.21
500 (20)	50.40	74.58	110.00	137.40	170.83	204.17	246.96	281.74	317.39	352.73	422.73	480.56	533.10
550 (22)	55.20	82.20	119.17	149.59	185.00	220.83	256.88	273.91	343.48	380.49	456.36	517.59	572.77
600 (24)	60.00	88.98	129.17	161.79	200.00	209.17	267.86	294.78	368.70	408.18	462.24	521.62	612.04
650 (26)	65.60	95.76	139.17	173.98	185.83	225.00	282.61	325.22	394.78	435.45	492.29	555.17	651.71
700 (28)	70.40	102.54	149.17	186.18	198.33	246.67	300.87	346.09	380.87	463.64	522.73	594.44	660.52
750 (30)	75.20	109.32	158.33	197.56	217.50	261.67	320.00	366.96	405.22	490.91	553.64	628.70	697.64
S.P	29.60	41.53	58.33	71.54	75.83	89.17	106.96	109.57	133.04	142.73	159.09	177.78	207.41
<ul style="list-style-type: none"> • S.P= Superficies planas o diámetros mayores a 762 mm (30 in) • Temperatura ambiente= 298 K (25°C) • Velocidad de aire= 10 000 m/h • Emisividad= 0.4 <p>Los valores de los espesores mostrados en la tabla, cambian con las variables indicadas en la sección de la memoria de cálculo y los espesores mostrados con las variables indicadas pueden ser iguales o mayores a los mostrados, pero no menores.</p>													

5 ELABORACIÓN DTI PARA PLANTA DE HNO₃

El Ácido Nítrico es un ácido fuerte, corrosivo y posee un olor irritante en concentraciones altas. Es soluble en agua y puede llegar a descomponerse por calentamiento formando agua, oxígeno y dióxido de nitrógeno. La materia prima para la producción de Ácido Nítrico es el amoniaco. El proceso involucra tres reacciones: oxidación catalítica de amoniaco con el aire, oxidación del Monóxido de Nitrógeno (formado en la reacción catalítica) a Dióxido de Nitrógeno y finalmente la absorción del Dióxido de Nitrógeno en agua para generar el ácido.

Los procesos que usan torres de absorción con agua para la generación de Ácido Nítrico no pueden lograr concentraciones mayores al 68% o 69%, estos procesos forman ácido débil, debido a la concentración del producto, para llevar a cabo la producción se introduce amoniaco, previamente tratado para la eliminación de agua e impurezas, al igual que aire atmosférico previamente acondicionado. Al mezclar dichas corrientes y llevando una reacción catalítica se logra generar una corriente que fundamentalmente contiene óxidos de Nitrógeno, vapor de agua e inertes. Posteriormente se acondiciona esta corriente con cambios de presión o temperatura, pueden ser ambos, la corriente se alimenta a una columna de absorción, en la cual la corriente gaseosa se absorbe en la corriente de agua, suministrada en el domo de la columna, donde se produce la corriente de fondos que contiene Ácido Nítrico cuya concentración está entre un 50% a 68% y en el domo sale una corriente gaseosa que por lo general contiene hasta 200 ppm de óxidos de Nitrógeno.

Las presiones de operación empleadas en cada tipo de proceso divide la producción de Ácido Nítrico débil en proceso de presión baja, proceso de presión media, procesos de alta presión y procesos de presión dual. Los procesos de baja presión se llevan a cabo la oxidación del amoniaco a presión atmosférica y la absorción de los óxidos de Nitrógeno ocurre en columnas a baja presión. Los procesos de presión media operan a presiones del orden de 550kPa. Los procesos de presiones altas operan a presiones del orden de 1 MPa y por último los procesos de presión dual operan en el mismo rango de presiones que los

procesos de presión media en la oxidación del amoníaco y a presiones altas en la absorción de óxidos de Nitrógeno en agua.

La principal aplicación del Ácido Nítrico es en la industria de los fertilizantes donde se consume aproximadamente el 75% del total producido, la concentración del ácido utilizado ronda entre un 55% a 60%, usado como materia prima para la producción de fertilizantes nitrogenados. También es usado como intermediario en la producción de materiales colorantes, en la elaboración de medicamentos para veterinaria y en la industria de los explosivos.

5.1 Proceso de producción del ácido nítrico

El proceso seleccionado para la producción de Ácido Nítrico, a un 60% en peso, es similar al desarrollado por C&I Girdler (Figura 1) en los Estados Unidos, donde la presión de trabajo es aproximadamente a 1000kPa.

Los principales equipos de procesos incluyen un compresor de aire para proporcionar el aire de alimentación al proceso, un evaporador de amoníaco y un sobrecalentador para el tratamiento del amoníaco previo a su alimentación. Un reactor con catalizador de platino/rodio de lecho fijo, el cual oxida rápidamente el amoníaco a temperaturas de reacción cercanas a 950°C. El rendimiento de la reacción es del 95%. Un ciclo de intercambiadores de calor localizado inmediatamente después de la salida del reactor, el cual es utilizado para la recuperación del calor de reacción. El calor de reacción se recupera por lo tanto de la expansión de gas, para proporcionar potencia al eje del compresor de aire, y para la producción de vapor de media presión, a 380°C y 400kPa. La energía disponible en el proceso es compartida aproximadamente en partes iguales entre la expansión del gas y la producción de vapor. Alrededor el 40% del vapor producido es requerido para el proceso, proporcionando alrededor de 3200 kg/h de vapor disponibles para la exportación.

Los gases, producto de la reacción, se enfrían y son absorbidos en agua dentro de la columna de absorción formando así ácido débil. Al producto en la corriente de fondos de la columna se le llama ácido rojizo, el color es resultado de las impurezas, óxidos de nitrógeno disueltos. El Ácido rojizo se blanquea a continuación, en una columna de extracción. Se burbujea aire a través ácido rojo,

para eliminar los óxidos de Nitrógeno disueltos. Por la parte inferior de la columna sale el producto, Ácido Nítrico al 60% en peso de concentración.

El diseño propuesto cuenta con dos diferencias a comparación del diseñado por C&I Girdler.

El primer cambio es la eliminación del bucle de agua caliente. Esto se considera una carga alta innecesaria que contribuye en la unidad de refrigeración. El servicio de enfriamiento proporcionado por este bucle ha sido sustituido por un proceso de refrigeración de agua.

El segundo cambio es la ruta de vapor condensado producido en el sobrecalentador de amoníaco, hacia el separador de vapor/líquido. Esta corriente estaba siendo devuelta al circuito de agua desionizada, la cual constituía una pérdida de energía disponible. El condensado, a 250°C, se utiliza mejor cuando fluye hacia el separador de vapor/líquido y se une a la alimentación de la caldera de calor residual.

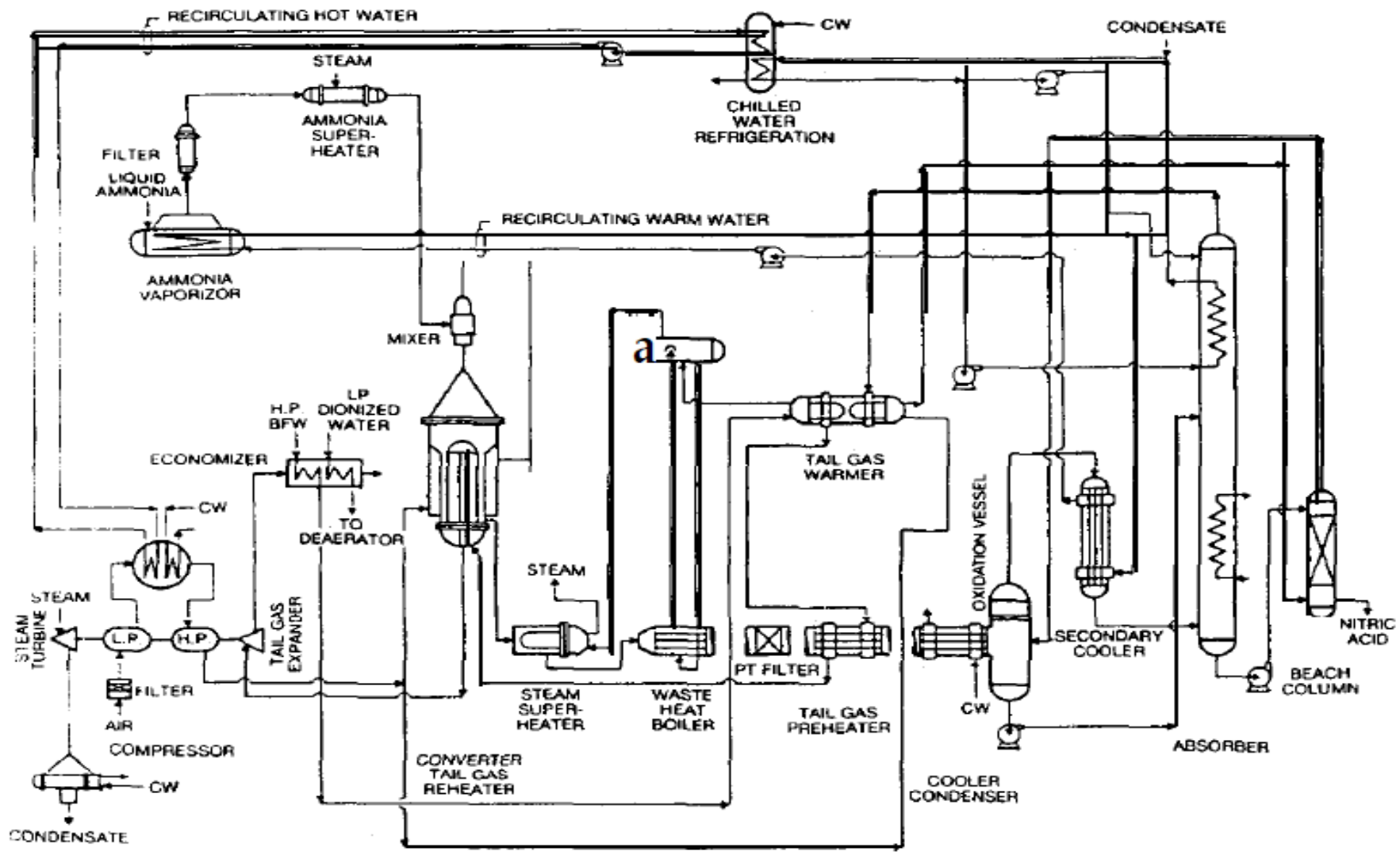


Figura 6 Esquema de Proceso de Producción de Ácido Nítrico, desarrollado por C&I Girdler.

5.2 Descripción del Proceso

El proceso a una sola presión posee ventajas económicas y operativas para el tamaño de esta planta. El proceso descrito en este diseño emplea tecnología desarrollada por C&I Girdler, en su proceso de una sola presión. El proceso a una sola presión (Figura 6) fue desarrollado para sacar el máximo provecho a alta presión de proceso. Presiones más altas permiten que el tamaño de los equipos de procesos se reduzca. La presión elevada también favorece la absorción, mientras que exhibe sólo un ligero descenso de los rendimientos en la etapa de reacción. Un paso de compresión de dos etapas se utiliza para elevar la presión a lo largo de todo el proceso.

El proceso comienza con la vaporización de amoníaco a 1240 kPa y 35°C utilizando el calor generado durante el proceso. El vapor de servicio se utiliza entonces para sobrecalentar el amoníaco hasta 180°C. El aire filtrado se comprime en un compresor axial de dos etapas a una presión de descarga de 1090 kPa y una temperatura de 232°C. Parte del aire se desvía para el blanqueo del ácido, se hace circular a través de la chaqueta del reactor, para calentarse. Este aire precalentado y el vapor de amoníaco (10% de amoníaco en volumen) se mezclan y se pasan a través del catalizador de platino/rodio. El amoníaco se oxida rápidamente y el calor de reacción aumenta la temperatura de reacción a un temperatura de 927-937°C.

El gas de reacción fluye a través de una serie de intercambiadores de calor para la recuperación de energía, ya sea como vapor sobrecalentado a alta presión o como potencia en el eje de expansión del gas caliente saliente de la columna de absorción. Este ciclo de intercambiadores de calor enfría el gas, producto de la reacción, a 185°C. En esta etapa el 70% del Monóxido de Nitrógeno formado inicialmente ya se han oxidado a Dióxido de Nitrógeno. El enfriamiento adicional a 60°C (en el refrigerador primario/condensador) es seguido por la separación aproximada de una tercera parte del ácido producido, Ácido Nítrico al 42%. El gas llega a un estado de oxidación a Dióxido de Nitrógeno de 43%, con la dimerización siendo aproximadamente del 20%. El gas se combina entonces con aire blanqueado que contiene Peróxido de Nitrógeno. Esta mezcla se oxida

adicionalmente usando el oxígeno de la corriente secundaria de aire. Se pasa a través del recipiente de oxidación y luego a través del refrigerador secundario. La corriente de gas entra al refrigerador de una temperatura de 140°C y sale de este a una temperatura de 65°C, el gas proporciona calor al bucle de circulación de agua. Este bucle a su vez proporciona la energía necesaria para evaporar la alimentación del amoníaco líquido. La mezcla de gas de reacción que entra al absorbedor se oxida el 95% de Peróxido de Nitrógeno y el 27% del dimerizado.

En el absorbedor se añade agua desionizada, en la parte superior y el ácido débil formado desde la unidad de oxidación a baja presión se añade a la columna de absorción. El Ácido que fluye hacia abajo se pondrá en contacto con los gases alimentados a la columna, provenientes del enfriador, poniéndose en contacto y mezclándose para reaccionar provocando aumento de temperatura. Hay tres zonas de operación en la columna de absorción: la zona inferior, se enfría con agua de refrigeración desionizada, la zona media enfriada con agua fría y la zona superior que es esencialmente adiabática. La eliminación de calor es eficiente, en las zonas media e inferior es particularmente importante debido a su efecto sobre las reacciones de oxidación y dimerización. El sistema de refrigeración de tres etapas en la columna de absorción proporciona un buen control operativo de la unidad. Para este diseño son utilizadas el agua de enfriamiento y el agua fría desionizada, ambas a 7°C. El agua de refrigeración alimentada al absorbedor, se suministra mediante una unidad de refrigeración, como resultado la temperatura del gas de salida es aproximadamente de 10°C.

El Ácido sale del absorbedor por la parte inferior, enfriado parcialmente, para ser blanqueado con aire comprimido. El aire blanqueador, que contiene Peróxido de Nitrógeno el cual fue despojado del ácido, se añade a la corriente principal de gas de reacción en el recipiente de oxidación. El gas enfriado saliente del absorbedor se calienta por intercambio de calor con la corriente de aire secundaria en la ruta a la columna de blanqueo. El gas se calienta a la temperatura de entrada del expensor a 620°C, pasando a través de dos intercambiadores de más del ciclo de recuperación de energía. El expensor recupera el 80% de la potencia requerida por el compresor. El gas se expande alcanzando una temperatura de 290°C y

luego fluye a través de un economizador proporcionando calor al agua de alimentación de calderas de alta presión y para el agua desionizada a baja presión. Posteriormente el gas se agota a la atmosfera a 210°C y conteniendo menos de 1000 ppm de óxidos de nitrógeno.

El circuito de agua de enfriamiento proporciona agua a 20°C para el condensador de vapor y el refrigerante del compresor. El uso de aceros inoxidable en el refrigerador, el condensador y en adelante, ha necesitado el uso de agua desionizada para todas las aplicaciones de refrigeración. Cualquier contaminante de cloruros causa problemas de corrosión costosos. El Acero dulce es adecuado para la construcción de todas las unidades de proceso, sin embargo, es posible que esté presente el Ácido Nítrico ya sea en forma líquida o de vapor en la mezcla de reacción. El Acero inoxidable grado 304L se utiliza para el refrigerador, el condensador y todos los equipos posteriores. El grado 304L es resistente a la corrosión por ácido nítrico, debido a la extensa nitruración durante la preparación y su extremadamente bajo contenido de carbono. Este grado de acero inoxidable también es adecuado para el mecanizado. Durante la reacción de oxidación del amoníaco, el catalizador de platino/rodio se pierde en forma de vapores de oxidación volátiles. La experiencia indica que la pérdida de un convertidor de operación a una sola presión a 937°C es de aproximadamente 0.384 g/ton. Debido a este fenómeno se han instalado dos sistemas de filtro de platino. La primera es una gasa de aleación de oro/paladio colocado inmediatamente después de la rejilla del catalizador en el reactor. La aleación de oro/paladio forma un complejo con el platino y el rodio volatilizado por lo que hasta el 70% del catalizador volatilizado puede ser recuperado. El segundo filtro es de cerámica, aluminio-silicato situado entre la caldera y el precalentador del gas saliente del absorbedor. Este segundo filtro es capaz de atrapar el 50% del catalizador del metal restante para la recuperación en una etapa posterior. Sin embargo, el catalizador debe ser vuelto a trabajar cada cinco o siete semanas.

5.3 Diagrama de Flujo de Proceso

El diagrama de flujo del proceso para la instalación descrita se presenta en la página 46. Se mantiene muchas de las temperaturas y presiones de operación utilizados en el proceso de C&I Girdler, sin embargo, hay algunos cambios significativos en el diagrama. En primer lugar, el bucle de agua caliente ha sido eliminado. Esto ha reducido la unidad de refrigeración, pero en su lugar se requiere más agua de refrigeración para ser usada en el intercambiador del compresor. Esta situación es preferible debido a que el agua de refrigeración en esta sección está disponible gratuitamente con sólo el costo de bombeo. Este costo de bombeo se compensa con el coste de procesamiento del agua de refrigeración en la unidad de refrigeración, junto con el aumento del costo de capital para una unidad con un rendimiento de enfriamiento más grande.

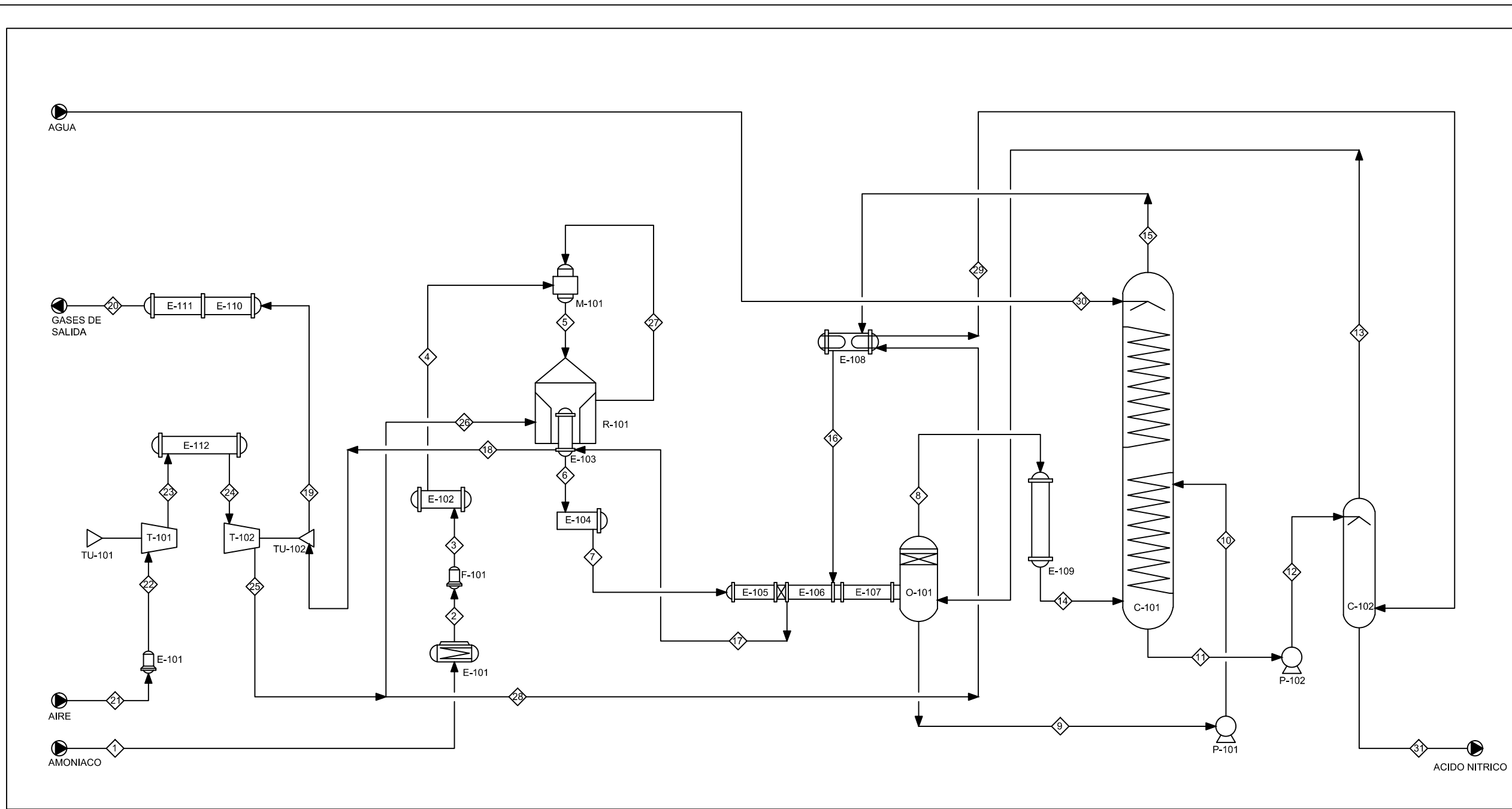
La segunda modificación del diagrama es que el vapor condensado desde el Sobrecalentador de amoníaco ha sido alimentado directamente en el separador de vapor / líquido, desde donde puede extraerse para la alimentación de la caldera de calor residual. Esta ruta es preferencial a la alimentación del condensado (a 250 ° C) de nuevo en el circuito de agua desionizada. Al re enrutamiento para el separador de vapor / líquido, la exigencia de calor de la caldera de calor residual puede ser reducido, y por lo tanto su tamaño y coste son más bajos.

El proceso descrito promete ser una operación eficiente con la oportunidad de convertirse en un productor neto de energía. Casi 6.000 kg de vapor de agua se pueden producir cada hora. Esto deja alrededor de 3.200 kg / h para la exportación después de que se cumplen los requisitos del proceso.

El aumento del consumo de amoníaco debido a la operación de presión más alta puede ser minimizado por un mayor grado de oxidación de amoníaco. Esto se logra por un énfasis añadido en la mezcla completad el amoníaco / aire, y la distribución de flujo uniforme a través de la tela del catalizador. El resultado de las temperaturas altas de oxidación provoca un aumento del consumo de platino/rodio y la necesidad de reelaborar el catalizador cada cinco a siete semanas. Sin embargo, la temperatura más alta y el efecto favorable de la presión hacen posible una mayor recuperación de energía a partir del proceso.

Para el diseño de la columna de absorción eficiente, la planta debe emitir los gases de salida a menos de 1000 ppm de óxidos de nitrógeno. Este nivel es aproximadamente la mitad del límite de las emisiones actuales en Australia Occidental. En caso de exceder estas emisiones debe tenerse en cuenta la instalación de una cámara de combustión catalítica de gas de cola que permite a los niveles de emisión para ser bajadas por debajo de 400 ppm. La planta normalmente no produce ningún residuo líquido.

El uso de agua desionizada para la refrigeración en las unidades de proceso posteriores es un requisito costoso, pero es necesario, debido a la utilización de los aceros inoxidable. Mediante el uso de un bucle de agua desionizada el costo puede ser minimizado.



EQUIPOS	
E-101	VAPORIZADOR DE AMONIACO
E-102	SOBRECALENTADOR DE AMONIACO
E-103	CALENTADOR DE GAS
E-104	SOBRECALENTADOR DE VAPOR
E-105	CALDERA DE CALOR DE DESECHO
E-106	CALENTADOR DE GAS
E-107	ENFRIADOR
E-108	CALENTADOR DE GAS DE SALIDA
E-109	ENFRIADOR
E-110	ENFRIADOR FASE 1
E-111	ENFRIADOR FASE 2
E-112	ENFRIADOR DEL COMPRESOR
R-101	REACTOR
F-101	FILTRO DE AMONIACO
F-102	FILTRO DE AIRE
C-101	COLUMNA DE ABSORCIÓN
C-102	COLUMNA DE BLANQUEO
P-101	BOMBA DE ÁCIDO
P-102	BOMBA DE ÁCIDO
T-101	COMPRESOR DE BAJA PRESIÓN
T-102	COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN
TU-101	TURBINA
TU-102	TURBINA
O-101	UNIDAD DE OXIDACIÓN
M-101	MEZCLADOR

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
T	°C	-15	35	35	177	250	645	595	140	66	65	45	45	50	65	10	47	235	620	620	210	35	35	180	45	232	232	262	232	80	7	55		
P	kPa	1240	1240	1240	1220	1060	1035	1025	1000	1015	1015	990	990	1020	995	980	970	960	950	950	900	99	99	310	300	1090	1090	1090	1090	1070	995	990		
NH3	Kg	2006	2006	2006	2006	2006																												
Aire	Kg					29700								6300								36000	36000	36000	36000	36000	29700	29700	6300	6300				
N2	Kg						2233	2233	27050						27050	27050	27050	27050	27050	27050	27050													
O2	Kg						2116	2116	1381						1381	850	850	850	850	850	850													
Agua	Kg						3539	3539	75	3208	3208	4667	4667		75	286	286	286	286	286	286											2338	4667	
Inertes	Kg						356	356	432						432	432	432	432	432	432	432													
NO	Kg						3363	3363	122						122																			
NO2	Kg								2203						2203	32	32	32	32	32	32													
N2O4	Kg								1673			460	460	460	1673	27	27	27	27	27	27													
HNO3	Kg								2323	2323	7000	7000																						7000
Flujo	Kg	2006	2006	2006	2006	31706	31706	31706	32936	5531	5531	12127	12127	6760	32936	28678	28678	28678	28678	28678	28678	36000	36000	36000	36000	36000	29700	29700	6300	6300	2338	11667		

5.4 Filosofía de operación

5.4.1 Arranque

- a) Se abrirá la válvula V-104 de suministro de vapor de servicio a la Turbina TE-101 (turbina de baja presión). Al mismo tiempo alimentar aire a la misma Turbina TE-101, con lo cual arranca la turbina. Abrir la válvula V-108, V-117 y V-119 de suministro de aire al equipo E-109.
- b) El aire se calentará debido a la compresión llegando a una temperatura de 180°C y una presión de 310kPa, esta corriente será alimentada al Enfriador E-109, se pondrá en circulación el agua de enfriamiento del equipo E-109.
- c) El agua de enfriamiento suministrada al Enfriador E-109 aumentara su temperatura, esta corriente será alimentada al serpentín del Evaporador de Amoníaco E-101. Al mismo tiempo abrir la válvula de alimentación de amoníaco, comenzando así la evaporación del amoníaco.
- d) Enseguida se abrirá la válvula V-105 que dará vapor de servicio de al Equipo E-102, con lo cual se sobrecalentara el amoníaco y posteriormente ingrese al mezclador M-101. Al registrar flujo de aire a la salida del Equipo E-109, se abrirá la válvula V-115 para ser alimentada la corriente de aire al mezclador M-101. En este momento se iniciara la reacción.
- e) Abrir las válvulas V-110 y V-114, al mismo tiempo cerrar las válvulas V-115, V-117 y V-119. El aire será introducido por la chaqueta del reactor hasta llegar al mezclador M-101, y continuar con la reacción.
- f) Los gases salen del reactor, abrir válvula V-112. Se abrirá la válvula V-116 para la alimentación de agua desionizada del Equipo E-105, el agua es suministrada por el equipo VL-101, para enfriar los gases producto de la reacción.

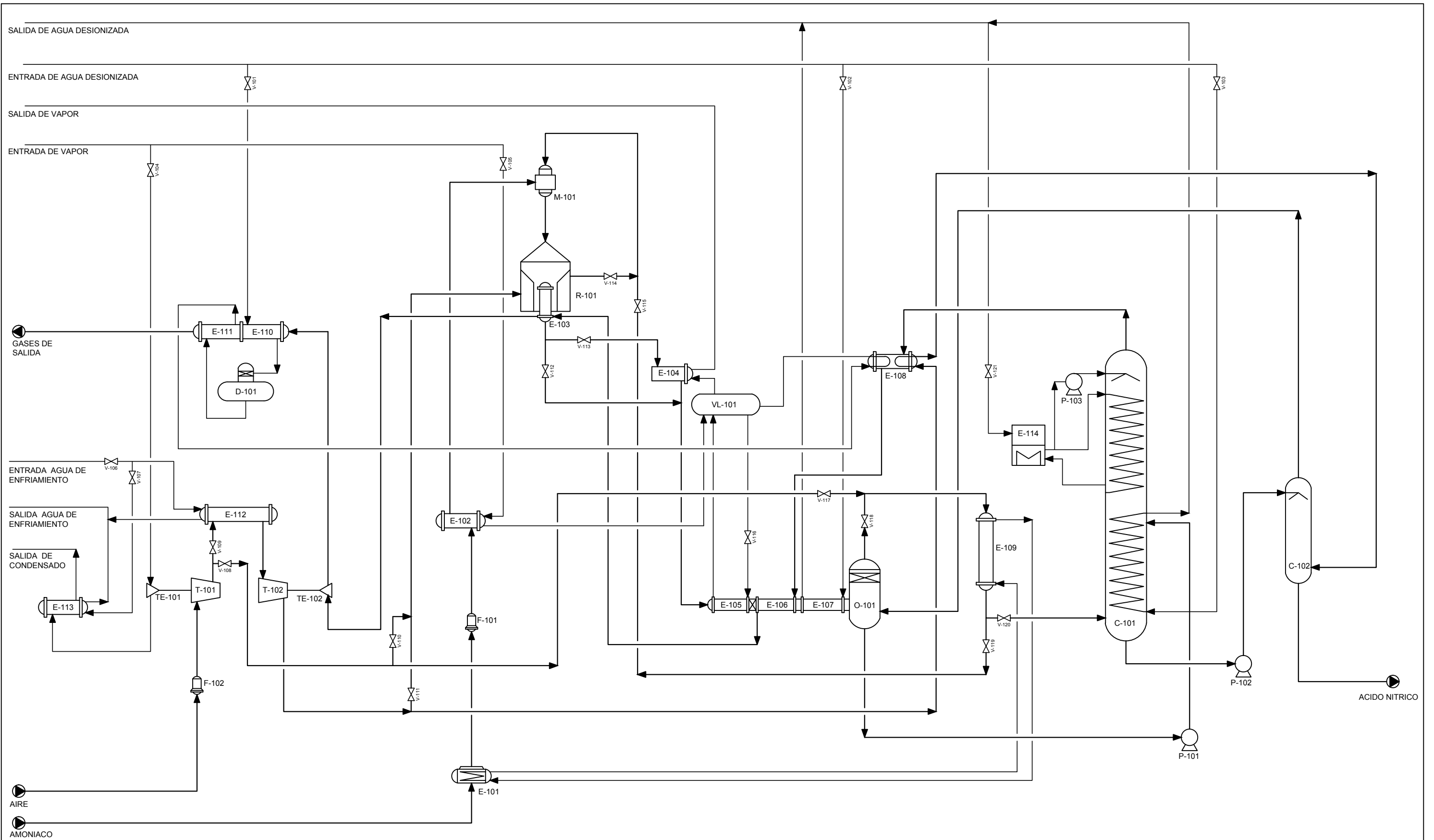
NOTA1: El Equipo VL-101 será previamente cargado de agua desionizada, antes de empezar el Arranque.

- g) Abrir válvulas V-118 y V-120, de igual manera las válvulas V-101 y V-102 de alimentación de agua desionizada. Encender Bomba P-101, iniciando la alimentación al Absorbedor C-101 del ácido formado hasta el momento.

Encender Bomba P-103 para la alimentación de agua desionizada al Absorbedor C-101.

- h) Cerrar las válvulas V-108 y V-110, abrir las válvulas V-109 y V-111. De esta manera se alimenta aire al equipo E-112. Al haberse generado ya gases, los cuales provienen del absorbedor C-101, se continua con la etapa 2 del compresor. Abrir válvula V-106, la cual alimenta Agua de Enfriamiento al equipo E-112.
- i) Al haber flujo de vapor en el Equipo VL-101, cerrar válvula V-112 y abrir la válvula V-113. Con lo cual los gases, productos de la reacción, se alimentan al equipo E-104.
- j) Encender bomba P-102, para mandar al Equipo C-102 el ácido formado. Con lo cual empieza la producción de Ácido Nítrico.

A continuación se presenta el Diagrama de Tubería e Instrumentación para el arranque de la planta.



EQUIPO		VALVULA	
E-101 VAPORIZADOR DE AMONIACO.	E-111 ENFRIADOR FASE 1.	V-101 VALVULA.	V-111 VALVULA.
E-102 SOBRECALENTADOR DE AMONIACO.	E-112 ENFRIADOR DEL COMPRESOR.	V-102 VALVULA.	V-112 VALVULA.
E-103 CALENTADOR DE GAS.	E-113 CONDENSADOR.	V-103 VALVULA.	V-113 VALVULA.
E-104 SOBRECALENTADOR DE VAPOR.	E-114 UNIDAD DE REFRIGERACION.	V-104 VALVULA.	V-114 VALVULA.
E-105 CALDERA DE CALOR DE DESECHO.	R-101 REACTOR.	V-105 VALVULA.	V-115 VALVULA.
E-106 CALENTADOR DE GAS.	F-101 FILTRO DE AMONIACO.	V-106 VALVULA.	V-116 VALVULA.
E-107 CONDENSADOR.	F-102 FILTRO DE AIRE.	V-107 VALVULA.	V-117 VALVULA.
E-108 CALENTADOR DE GAS DE SALIDA.	C-101 COLUMNA DE ABSORCION.	V-108 VALVULA.	V-118 VALVULA.
E-109 ENFRIADOR.	C-102 COLUMNA DE BLANQUEO.	V-109 VALVULA.	V-119 VALVULA.
E-110 ENFRIADOR FASE 2.	P-101 BOMBA DE ACIDO.	V-110 VALVULA.	V-120 VALVULA.
	P-102 BOMBA DE ACIDO.		
	P-103 BOMBA DE AGUA.		
	D-101 DESAIRADOR.		
	T-101 COMPRESOR DE BAJA PRESION.		
	T-102 COMPRESOR DE ALTA PRESION.		
	TU-101 TURBINA.		
	TU-102 TURBINA.		
	VL-101 SEARADOR LIQUIDO VAPOR.		
		V-121 VALVULA.	

5.4.2 Operación Normal

- a) Una vez estabilizada la operación en el arranque se deberá controlar la presión del vaporizador de Amoniaco E-101.
- b) El control de la presión se hará mediante la válvula VC-112 a la descarga de Amoniaco del Vaporizador E-101 mediante un Indicador Controlador de Presión (PIC-112) que tomará la señal por fuera de los tubos del vaporizador.
- c) El Amoniaco vaporizado entrará al sobrecalentador E-102, se tomara la temperatura del amoniaco mediante un Indicador Controlador de Temperatura (TIC-111), controlando el flujo de vapor con la válvula VC-111.

Nota: Instalar bomba de condensado, en la salida de condensado del Equipo E-102.

- d) La alimentación de Aire será regula mediante un Indicador Controlador de Flujo (FIC-102), se medirá el Flujo de Aire en la salida del Filtro F-102, de acuerdo a dicha lectura se accionara la Válvula de Control VC-102, si el flujo es menor al set-point la válvula se abrirá.

Nota: Se instaló un bypass en la descarga del Compresor T-101, su función es aportar el flujo necesario para el funcionamiento del Compresor T-101.

- e) El flujo de alimentación de Aire será controlado con la presión en la descarga del Compresor T-101. Se medirá la presión (PIC-103) y de acuerdo a la lectura se regulará el flujo de vapor entrante en la Turbina TE-101, con la válvula VC-103.
- f) Posteriormente el flujo de Aire ingresará al Enfriador del compresor E-112, para disminuir su temperatura, se controlará la temperatura de salida del flujo de Aire (TIC-104) accionando la válvula VC-104, suministrando así el flujo de Agua de Enfriamiento necesaria.
- g) La presión en la descarga del compresor T-102 será medida (PIC-106), de acuerdo a la medición se incrementará o disminuirá el flujo de los gases de salida accionando la válvula VC-106. Los gases de salida accionarán la Turbina TU-102, controlando así la presión en la descarga del Compresor T-102.

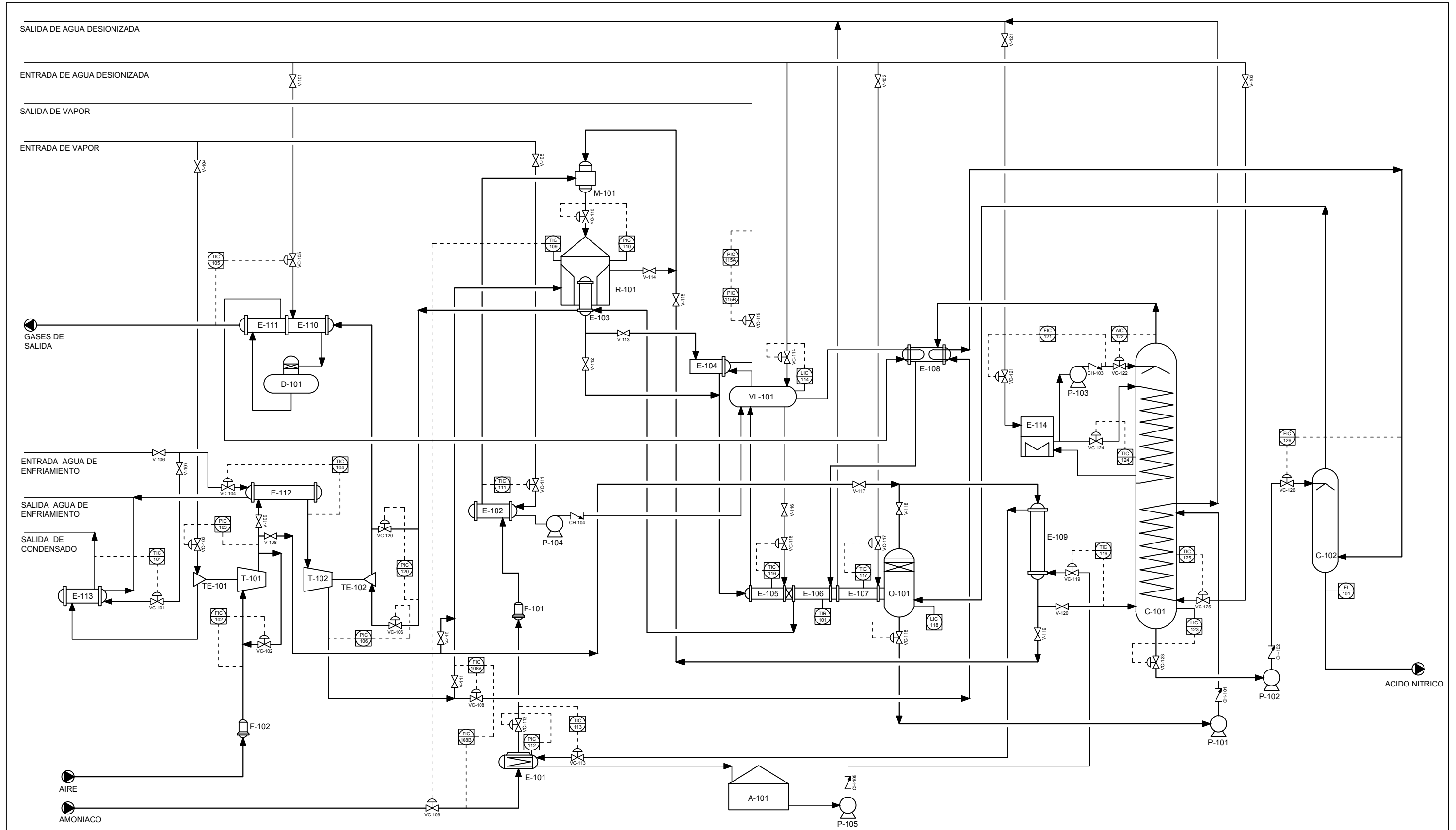
Nota: Se instalará un bypass que deberá actuar cuando la presión corriente arriba se incremente, se enviara el gas que salga por el bypass a la línea de entrada del Enfriador E-110 y E-111, evitando que se sobre presione la planta. Entra Agua Desionizada al Enfriador E-110 y E-111, se instalara un TIC-105 controlando el flujo de Agua Desionizada con la válvula VC-105.

- h) El flujo de Aire que entra al Reactor R-101 se controlara en función de la cantidad de Amoniaco alimentado en fase líquida, debiendo relacionar ambos flujos de acuerdo a las necesidades de la reacción (FIC-108A/B).
- i) Controlaremos la Temperatura (TIC-109) del Reactor R-101 de acuerdo al Amoniaco líquido alimentado, se regulara el flujo con la válvula VC-109. La presión será controlada (PIC-110) aliviándola con la válvula VC-110.
- j) Se recupera energía en el Sobrecalentador de Vapor E-104, obteniendo vapor para ser usado en otro sector de la planta, la presión del vapor será regulado (PIC-115A/B) utilizando la válvula VC-115.
- k) Posteriormente el Gas de Reacción entrara a un ciclo de intercambiadores, primero entrara al Equipo E-105, enfriando los gases con Agua proveniente del VL-101 controlando la temperatura (TIC-116) de los gases, el flujo de Agua será controlado con la válvula VC-116. Posteriormente el Gas de Reacción entrara al Calentador E-106, en el cual no puede controlar el suministro de Gas de Salida que enfriara los Gases de Reacción, se llevará un registro de la temperatura (TIR-101) de los gases de reacción a la salida del Calentador E-106. Finalmente los Gases de Reacción ingresan al Condensador E-107, controlando la temperatura del Gas de Reacción (TIC-117) regulando la entrada de Agua Desionizada con la Válvula V-117.
- l) La unidad de Oxidación O-101, tendrá un controlador de nivel (LIC-118), la Bomba P-101 estará en funcionamiento llevando el ácido formado a la Columna de Absorción C-101.
- m) Se controlará el nivel del líquido de la Columna de Absorción C-101 (LIC-123). Es de gran importancia para el proceso la temperatura a la que opera la Columna de Absorción C-101 por lo que será controlada (TIC-124 y TIC-125) aumentando o disminuyendo el flujo de Agua Desionizada con las

válvulas VC-124 y VC-125. Los Gases de Salida de la Columna de Absorción C-101, contienen NOx, por lo que se tendrá un analizador (AIC-122), si la concentración de NOx es mayor a la debida se alimentara un mayor flujo de Agua Desionizada accionándose la válvula VC-122.

- n) El flujo de entrada de Ácido a la Columna Blanqueadora C-102 será controlado (FIC-126) en función del Aire alimentado a la Columna Blanqueadora C-102, accionando la válvula VC-126.

A continuación se presenta el Diagrama de Tubería e Instrumentación para la operación normal.



EQUIPO E-101 VAPORIZADOR DE AMONIACO. E-102 SOBRECALENTADOR DE AMONIACO. E-103 CALENTADOR DE GAS. E-104 SOBRECALENTADOR DE VAPOR. E-105 CALDERA DE CALOR DE DESECHO. E-106 CALENTADOR DE GAS. E-107 CONDENSADOR. E-108 CALENTADOR DE GAS DE SALIDA. E-109 ENFRIADOR. E-110 ENFRIADRO FASE 2. E-111 ENFRIADOR FASE 1. E-112 ENFRIADOR DEL COMPRESOR. E-113 CONDENSADOR. E-114 UNIDAD DE REFRIGERACION. R-101 REACTOR. F-101 FILTRO DE AMONIACO. F-102 FILTRO DE AIRE. C-101 COLUMNA DE ABSORCION. C-102 COLUMNA DE BLANQUEO. P-101 BOMBA DE ACIDO. P-102 BOMBA DE ACIDO. P-103 BOMBA DE AGUA. P-104 BOMBA DE AGUA. P-105 BOMBA DE AGUA. A-101 TANQUE DE AGUA. O-101 UNIDAD DE OXIDACION. V-101 VALVULA. V-102 VALVULA. V-103 VALVULA. V-104 VALVULA. V-105 VALVULA. V-106 VALVULA. V-107 VALVULA. V-108 VALVULA. V-109 VALVULA. V-110 VALVULA. V-111 VALVULA. V-112 VALVULA. V-113 VALVULA. V-114 VALVULA. V-115 VALVULA. V-116 VALVULA. V-117 VALVULA. V-118 VALVULA. V-119 VALVULA. V-120 VALVULA. V-121 VALVULA. CH-101 VALVULA CHECK. CH-102 VALVULA CHECK. CH-103 VALVULA CHECK. CH-104 VALVULA CHECK. CH-105 VALVULA CHECK. VC-101 VALVULA DE CONTROL. VC-102 VALVULA DE CONTROL. VC-103 VALVULA DE CONTROL. VC-104 VALVULA DE CONTROL. VC-105 VALVULA DE CONTROL. VC-106 VALVULA DE CONTROL. VC-107 VALVULA DE CONTROL. VC-108 VALVULA DE CONTROL. VC-109 VALVULA DE CONTROL. VC-110 VALVULA DE CONTROL. VC-111 VALVULA DE CONTROL. VC-112 VALVULA DE CONTROL. VC-113 VALVULA DE CONTROL. VC-114 VALVULA DE CONTROL. VC-115 VALVULA DE CONTROL. VC-116 VALVULA DE CONTROL. VC-117 VALVULA DE CONTROL. VC-118 VALVULA DE CONTROL. VC-119 VALVULA DE CONTROL. VC-120 VALVULA DE CONTROL. VC-121 VALVULA DE CONTROL. VC-122 VALVULA DE CONTROL. VC-123 VALVULA DE CONTROL. VC-124 VALVULA DE CONTROL. VC-125 VALVULA DE CONTROL. VC-126 VALVULA DE CONTROL.

5.4.3 Paro Normal

- a) Se suspenderá la alimentación de Amoniaco líquido. Al indicar un descenso en la temperatura el instrumento TIC-111, se apagará la Bomba P-104 y se suspenderá suministro de vapor hacia el Sobrecalentador E-102, cerrando la válvula V-105.
- b) Al agotarse la reacción llevada a cabo en el Reactor R-101, se continuará con la alimentación Aire, para enfriar el Reactor R-101.
- c) En el momento que los instrumentos TIC-116 y TIC-117 indiquen un descenso considerable en la temperatura, se suspenderá el suministro de Agua Desionizada en el Equipo E-105 y el Calentador E-107 cerrando las válvulas V-102 y V-116.
- d) La Unidad de Oxidación O-101 dejará de operar cuando se suspenda la alimentación de Agua Desionizada al Equipos E-105 y el Calentador E-107, dejándola a su nivel mínimo la Unidad de Oxidación y suspendiendo la operación de la Bomba P-101.
- e) Suspender la operación de la Bomba P-105 al momento que el instrumento TIC-119 indique un descenso considerable de la temperatura, con lo cual el Enfriador E-109 dejará de operar.
- f) Al transcurrir un tiempo considerable se suspenderá la operación de la Columna de Absorción C-101 en el momento que el Analizador AIC-122 indique una concentración mínima de NOx. Suspendiendo posteriormente el servicio de Agua Desionizada, apagando la Bomba P-103 y cerrando las válvulas V-103 y V-121.
- g) La Columna de Blanqueo C-102 dejará de operar cuando la Columna de Absorción C-101 indique su nivel mínimo y dejara de operar la Bomba P-102.
- h) Se dejara de alimentar Aire cuando el Reactor R-101 se haya enfriado, con lo cual se suspende el servicio de Vapor, Agua Desionizada y Agua de Enfriamiento.

5.4.4 Paro de Emergencia

Durante el proceso podrán suceder diferentes circunstancias peligrosas, por lo cual se debe tener una estrategia que permita solucionarlas.

- Ruptura de tubos internos y/o coraza en el Vaporizador E-101: Se suspenderá la alimentación de Amoniaco líquido, de igual manera dejará de operar la Bomba P-105.
- Ruptura de tubos internos y/o coraza en el Sobrecalentador E-102: Cerrar la válvula VC-105, suspendiendo la alimentación de vapor hacia los tubos, apagar la Bomba P-104 y suspender la alimentación de Amoniaco líquido.
- La temperatura y/o la presión del Reactor R-101 aumenta fuera del rango de operación: Suspender la Alimentación de Amoniaco líquido y aumentar el flujo de Aire.
- Ruptura de tubos internos y/o coraza del Sobrecalentador de Vapor E-104: Cerrar la válvula V-113, suspender la alimentación de Amoniaco líquido y suspender el servicio de vapor.
- Ruptura de tubos internos y/o coraza del Equipo E-105, Calentador E-106 y Condensador E-107, fractura en el Equipo O-101: Suspender alimentación de Amoniaco líquido y suspender servicio de Agua Desionizada.
- Ruptura de serpentín y fractura de la Columna de Absorción C-101 y la Columna de Blanqueo C-102: Suspender la alimentación de Amoniaco líquido, suspender servicio de Agua Desionizada y apagado de Bombas P-101, P-102 y P-103.

5.5 Selección de materiales

Los aceros inoxidable son los más resistentes a la corrosión. El tipo 302 es la aleación básica, los tipos 304 y 304L contienen un bajo contenido de carbono los cuales son versiones del 302. Los tipos 316, 316L y 317 son los más resistentes a la corrosión ya que contienen de un 2.5 a 3.5% de molibdeno.

Los aceros inoxidable presentan una resistencia una excelente resistencia al ácido nítrico prácticamente en todas sus concentraciones.

5.6 Diámetro de tuberías

Se tomarán velocidades recomendadas para el fluido que llevará cada línea en el proceso, En la siguiente tabla se mostrarán los diámetros de las tuberías.

Tabla 15 Diámetro de tuberías para la producción de ácido nítrico.

Línea	T (°C)	P (kPa)	Flujo (kg/h)	V (ft/s)	A (m ²)	Diámetro (in)	Cédula
1	-15	1240	2006	6	0.00048	1	40
2	35	1240	2006	100	0.00003	0.125	40
3	35	1240	2006	100	0.00003	0.125	40
4	177	1220	2006	100	0.00008	0.375	40
5	250	1060	31706	66	0.06470	12	40
6	645	1035	31706	66	0.11788	15	40
7	595	1025	31706	66	0.11148	15	40
8	140	1000	32936	66	0.05031	10	40
9	66	1015	5531	4	0.00101	1.25	40
10	65	1015	5531	4	0.00101	1.25	40
11	45	990	12127	4	0.00211	2	40
12	45	990	12127	4	0.00211	2	40
13	50	1020	6760	66	0.00790	4	40
14	65	995	32936	66	0.04139	10	40
15	10	980	28678	66	0.03475	6	40
16	47	970	28678	66	0.03969	10	40
17	235	960	28678	66	0.06365	12	40
18	620	950	28678	66	0.11307	15	40
19	620	950	28678	66	0.11307	15	40
20	210	900	28678	66	0.06456	12	40
21	35	99	36000	66	0.44344	30	40
22	35	99	36000	66	0.44344	30	40
23	180	310	36000	66	0.20834	20	40
24	45	300	36000	66	0.15114	18	40
25	232	1090	36000	66	0.06604	12	40
26	232	1090	29700	66	0.05448	8	40
27	262	1090	29700	66	0.05772	8	40
28	232	1090	6300	66	0.01156	5	40
29	80	1070	6300	66	0.00823	4	40
30	7	995	2338	5	0.00043	1	40
31	55	990	11667	4	0.00194	2	40

5.7 Aislamiento

El material a utilizar para aislar las tuberías será la perlita expandida. Ya que es repelente al agua, es incombustible y no corroe el acero inoxidable. Los espesores de aislante a utilizar serán los reportados en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.

Tabla 16 Espesor del aislante en las líneas de producción de ácido nítrico.

Línea	T (°C)	Diámetro (in)	Aislante	Espesor Aislante (mm)
1	-15	1	Poliestireno celular NC-11	25
2	35	1/8	-----	-----
3	35	1/8	-----	-----
4	177	3/8	Perlita expandida. Código NC-9	64
5	250	12	Perlita expandida. Código NC-9	114
6	645	16	Perlita expandida. Código NC-9	191
7	595	16	Perlita expandida. Código NC-9	191
8	140	10	Perlita expandida. Código NC-9	89
9	66	1 1/4	Perlita expandida. Código NC-9	38
10	65	1 1/4	Perlita expandida. Código NC-9	38
11	45	2	Perlita expandida. Código NC-9	38
12	45	2	Perlita expandida. Código NC-9	38
13	50	4	Perlita expandida. Código NC-9	38
14	65	10	Perlita expandida. Código NC-9	38
15	10	8	-----	-----
16	47	8	Perlita expandida. Código NC-9	38
17	235	12	Perlita expandida. Código NC-9	114
18	620	16	Perlita expandida. Código NC-9	191
19	620	16	Perlita expandida. Código NC-9	191
20	210	12	Perlita expandida. Código NC-9	114
21	35	24	-----	-----
22	35	24	-----	-----
23	180	24	Perlita expandida. Código NC-9	114
24	45	18	Perlita expandida. Código NC-9	51
25	232	12	Perlita expandida. Código NC-9	114
26	232	8	Perlita expandida. Código NC-9	114
27	262	8	Perlita expandida. Código NC-9	127
28	232	5	Perlita expandida. Código NC-9	102
29	80	4	Perlita expandida. Código NC-9	64
30	7	5	-----	-----
31	55	4	Perlita expandida. Código NC-9	38

5.8 HAZOP

Para llevar cabo el análisis HAZOP se necesitarán criterios de diseño de la columna de absorción.

Tabla 17 Criterios de diseño importantes de la columna de absorción.

Parámetros de operación	
Presión de operación	950 kPa
Temperatura de operación	65°C a 10°C
Entradas a la columna	
Alimentación de gas de reacción	65°C y 960kPa
Nitrógenos e inertes	27 500 kg
Oxígeno	1 500 kg
Monóxido de Nitrógeno	120 kg
Dióxido de Nitrógeno	2 150 kg
Tetróxido de Dinitrógeno	1 300 kg
Total	32 570 kg
Ácido débil condensado	50°C y 960 kPa
Ácido Nítrico (42% en peso)	5 530 kg
Agua de reposición	Desionizada a 7°C y 960kPa
Agua	2 340 kg
Requisito de salida	
Ácido producto (60% en peso)	11 670 kg
Las emisiones de gas de salida (en 1°C)	< 1000ppm

Tabla 18 Corriente de condensado de ácido débil.

Corriente de condensado de ácido débil				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
No	No hay flujo	1. Fallo de la bomba	Calidad del producto deficiente y los altos niveles de NOx en la emisión de gases de salida.	a) Instalación de alarma de bajo nivel (LIC) en la base de la columna de absorción.
		2. La válvula no cierra.	En cuanto a 1 Re calentamiento de la válvula.	Cubierto por a). b) Instalar válvula check.
		3. Fractura en la Línea.	En cuanto a 1 y 2.	Cubierto por a) y b).
Más	Más flujo	4. Mayor humedad en el aire de alimentación	Mayor nivel en la torre de absorción, producto ácido más débil.	d) Instale una alarma de alto nivel sobre la LIC en la base de la columna de absorción.
	Más temperatura	5. Las velocidades de avance más altas causan grandes calores de reacción.	Posible elevación en la emisión de NOx, debido a la baja absorción.	Ver tabla 17
	Mayor presión	6. La válvula está cerrada por error mientras la bomba se encuentra en funcionamiento.	Completas las líneas de suministro sujetas a presión.	Cubierto por b) e) Tal vez valga la pena instalar un medidor de presión en la descarga de la bomba de suministro.

Corriente de condensado de ácido débil				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
Menos	Menor flujo	9. Fuga en la brida o fuga en el ramal de blanqueo.	Disminución de la absorción. Baja producción.	Cubierto por a), c) y d).
	Menor Temperatura	10. Temperatura del gas de reacción en la unidad de oxidación es más bajo.	El aumento de las concentraciones de NOx en el producto ácido.	Ver tabla 17
Otros	Mantenimiento	11. Falla del equipo, pérdida de brida, cambio de catalizador en el reactor, etc.	Detener el proceso.	Asegúrese de que todas las tuberías y los accesorios están contruidos con los materiales adecuados y la tensión de arco aliviado.

Tabla 19 Corriente de Alimentación de agua.

Corriente de Alimentación de agua				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
No	No hay flujo	1. Fallo de la bomba.	Alta emisión de NOx en los gases de salida.	a) Instalación de alarma de nivel bajo (LIC) en la base de la columna de absorción.
		2. La válvula no cierra	En cuanto a 1. Re calentamiento de la válvula.	Cubierto por a). b) Instalar válvula check
		3. Fractura en la línea.	En cuanto a 1 y 2	Cubierto por a) y b) c) La inspección regular y el patrullaje de las líneas de ácido débil.
Más	Mayor flujo	4. La válvula de control falla, abierta.	Se forma producto de ácido diluido.	d) Instale una alarma de alto nivel (LIC) en la base de la columna de absorción.
	Mayor temperatura	5. Superior temperatura de alimentación a la unidad de refrigeración. 6. El falla en la unidad de refrigeración.	Posible aumento en la emisión de NOx debido a la absorción más baja. En cuanto a 5	Ver tabla 17 e) Asegúrese que la unidad de refrigeración funcione con un control adecuado.
	Mayor presión	7. La válvula de aislamiento esté cerrada por error, mientras que la bomba de funcionamiento.	Líneas sujetas a presión.	Cubierto por b) f) Tal vez valga la pena instalar un medidor de

Corriente de Alimentación de agua				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
		8. La expansión térmica en la sección de la válvula de aislamiento (fuego).	Posible fractura de la línea o fuga en la brida.	presión en la descarga de la bomba de suministro. g) Proporcionar alivio de expansión térmica en la sección de la válvula.
Menor	Menor de Flujo	9. Fuga en la brida o fuga en el ramal de blanqueo.	Disminución de la absorción. Costo operativo superior en agua debido a pérdidas.	Cubierto por a), c) y d)
	Menor temperatura	10. Baja temperatura del gas de reacción en la unidad de oxidación.	El aumento de las concentraciones de NOx en el producto ácido.	Ver tabla 17
Otros	Mantenimiento	11. Falla del equipo, pérdida de brida, cambio de catalizador en el reactor. Etcétera.	Detener el proceso.	Asegúrese de que todas las tuberías y los accesorios, el cambio de catalizador en el reactor, etc. Son construidas con los materiales adecuados y son el estrés se alivia

Tabla 20 Corriente de gas de entrada.

Corriente de gas de entrada				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
No	No hay flujo	1. Se detuvo el flujo de la corriente.	No hay absorción en la columna. Todo el proceso se detiene en el gas de salida.	a) Asegúrese de la alimentación de líquidos al absorbedor y detener otras unidades de proceso. b) Instalar alarma de flujo bajo (FIC).
		2. Bloqueo de línea o de la válvula de aislamiento cerrado por error	En cuanto a 1. La acumulación de presión en el tubo y el refrigerador secundario.	Cubierto por a) y b) c) Instale válvula check y asegurarse que el sistema de alivio de presión es la adecuado.
		3. Línea fracturada.	En cuanto a 1. Los gases se escapan en el entorno	Cubierto por a) y b) d) Patrullaje regular de líneas de alimentación. e) Los procedimientos de apagado de emergencia de plantas
Más	Mayor flujo	4. Aumento de alimentación	Posible reducción en la eficiencia de absorción Puede causar inundaciones.	f) El control de relación en las corrientes de alimentación de líquido debe ser suficiente. g) Instalar alarma de flujo alto (FIC).
	Mayor presión	5. Inundaciones.	Unidad sujetos a alta presión, discos de ruptura	Cubierto por c). h) Asegurarse del correcto

Corriente de gas de entrada				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
			se puede romper, la liberación de gas de cola	dimensionamiento del sistema de alivio de presión.
		6. Válvula accidentalmente cerrada.	En cuanto a 2.	Cubierto por b) y c)
		7. La expansión térmica en la sección de la válvula de (fuego).	Línea fracturada o pérdida de la brida.	i) Proveer alivio de expansión térmica en el diseño de la sección de la válvula.
	Mayor temperatura	8. refrigeración insuficiente	Disminución de la absorción, la contaminación es más alta	j) Asegurarse del control preciso de la temperatura en el circuito de refrigeración interno.
Menor	Menor flujo Menor temperatura	9. Fuga en la entrada. 10. Se enfría demasiado.	En cuanto a 3 Aumento de gases disueltos en el ácido (impurezas).	Cubierto por b) and d) Cubierto por j)
Parte de	Alta composición de NOx	11. Rendimiento mejorado del reactor.	Posibles altos niveles de emisión de gases de salida.	k) Aumentar manualmente el flujo de agua.
Otros	Mantenimiento	12. Catalizador de conmutación o fracaso de equipo, fugas en brida	Apagado del proceso entero.	l) Asegúrese el procedimiento de apagado normal establecido.

Tabla 21 Flujo de gas de salida.

Flujo de gas de salida				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
No	No hay flujo	1. No hay flujo de gas de entrada.	No hay gas de salida para la expansión.	Ver tabla 20
		2. Inundaciones en la columna	Acumulación de presión en la columna y la línea. En cuanto a 1	a) Instalación de alarma de nivel bajo. b) Instale la válvula de alivio de presión con disco de ruptura.
		3. Bloqueo de la línea o de la válvula, cerrado por error.	En cuanto a 2	Cubierto por b). c) Instalación de alarma de alto nivel.
		4. Línea de fractura o falla brida.	En cuanto a 1.	Cubierto por a). d) Instituto de la inspección periódica de todas las líneas de transferencia.
Más	Mayor flujo	5. El aumento en la alimentación de gas.	Líneas sometidas a presiones más altas.	Cubierto por b) y c)
		6. Disminución de la absorción de NOx.	En cuanto a 5. Los niveles de emisión de gases de salida aumentan.	Cubierto por b) y c). d) Alteración de la velocidad de alimentación del agua.
	Mayor temperatura	7. Gas de alimentación superior o la temperatura de entrada de líquido.	Disminución de la absorción y el aumento de las emisiones de NOx.	e) Instale alarma de nivel alto. Ver Tablas 18 y 19
	Mayor presión	8. Todas las 5, 6, y / o 7.	En cuanto a 5,6 y 7.	Cubierto por b) y c).

Flujo de gas de salida				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
		9. La expansión térmica en la sección de la válvula de aislamiento (fuego).	Línea de fractura o pérdida de la brida.	f) Instale el alivio de expansión térmica en la sección de la válvula de aislamiento.
		10) Cierre de la válvula por error.	En cuanto a 3.	Cubierto por b) y c).
Menos	Menor flujo	11. Fugas en brida y fugas en válvula.	Menos gas de salida para la expansión y liberación de NOx a la atmósfera.	Cubierto por a) y b)
		12. Inundaciones.	En cuanto a 2.	Cubierto por a) y b)
Más que	líquido Remanente	13. El dispositivo de arrastres es ineficaces.	La condensación en las líneas (corrosión).	Cambie el dispositivo de arrastre
Otros	Mantenimiento	14. Falla del equipo, pérdida de brida, cambio de catalizador en el reactor, etc.	Detener el proceso.	Asegurarse que todas las tuberías y accesorios están contruidos con los materiales adecuados.

Tabla 22 Corriente de salida líquida.

Corriente de salida líquida				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
No	No hay flujo	<p>1. No entra corriente líquida, ya sea agua de relleno o ácido condensado.</p> <p>2. Las inundaciones en la columna.</p> <p>3. La válvula no está cerrada.</p> <p>4. línea fracturada.</p>	<p>Ver tablas 18 y 19</p> <p>Aumento de la presión de la columna.</p> <p>El nivel del líquido en la columna, problemas de inundaciones</p> <p>Descarga de ácido en los alrededores.</p> <p>La pérdida de la alimentación a la columna de separación</p>	<p>a) Sometidas al control y las alarmas especificadas en las tablas 18, 19 y 20.</p> <p>Cubierto por a).</p> <p>b) Instalar alarma de nivel alto.</p> <p>c) Patrullaje e inspección regular de las líneas.</p> <p>d) Instale detectores adecuados a la columna de separación para indicar la pérdida de flujo.</p>
Más	<p>Mayor flujo</p> <p>Mayor temperatura</p>	<p>5. La válvula se deja abierta.</p> <p>6. Las temperaturas más altas de entrada</p>	<p>Gas comienza a pasar por alto las placas, causando el aumento de las emisiones de NOx</p> <p>Menor cantidad de NOx disuelto en el ácido, pero mayores emisiones de NOx en los gases de salida.</p>	<p>e) Instalar alarma de nivel bajo.</p> <p>Cubierto de en tabla 18, 19 y 20.</p>

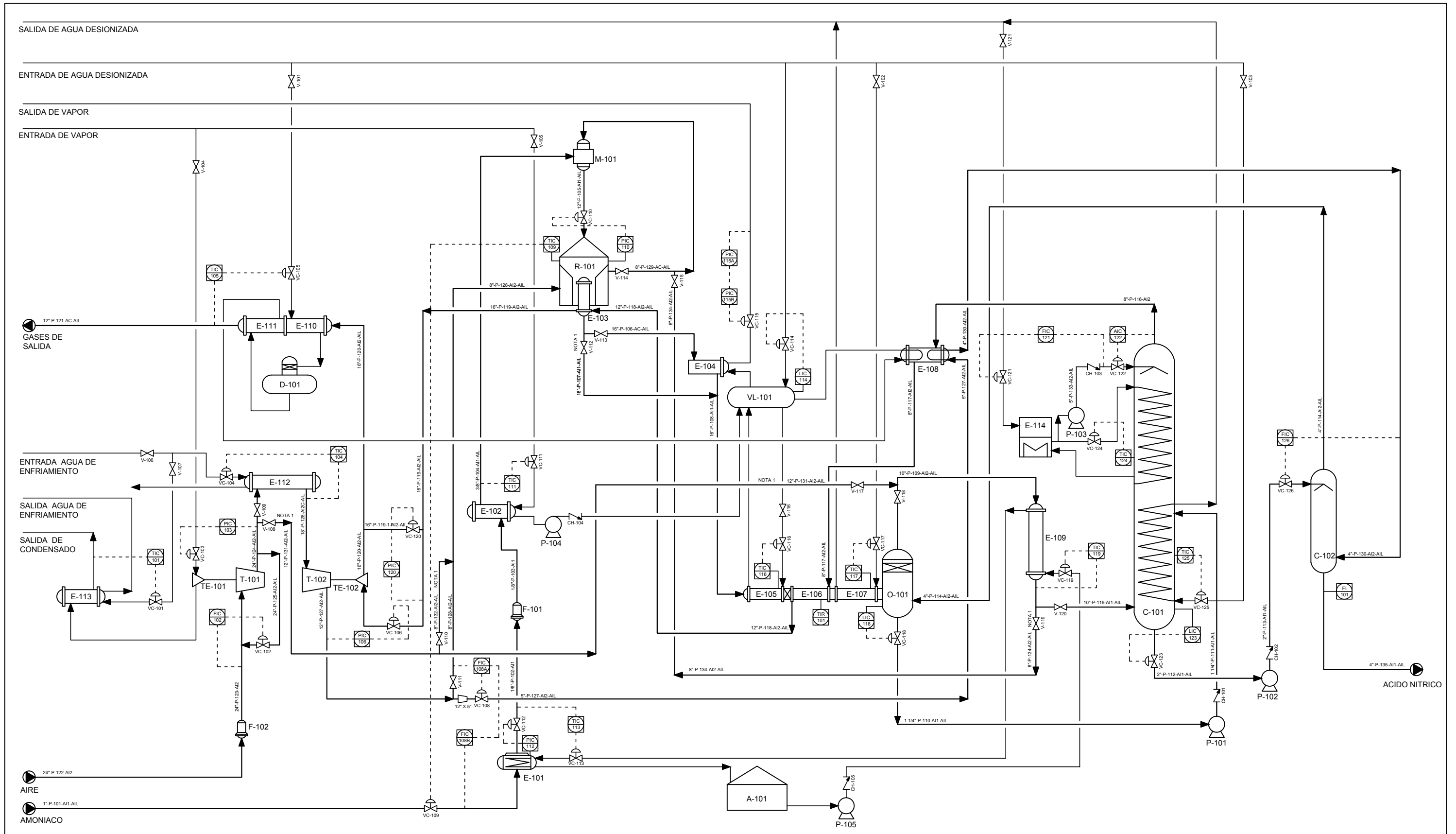
Corriente de salida líquida				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
	Mayor presión	7. Válvula de aislamiento cerrado por error.	Línea completa sujeta a sobrepresión.	Cubierto por a)
Menos	Menor flujo	8. Fuga en brida o fugas en válvula.	Pérdida de un entorno.	Cubierto por d) y e)
	Menor temperatura	9. Temperatura de la corriente de entrada inferior o mayor a la capacidad del circuito de refrigeración	Mayores concentraciones de NOx disuelto en el producto ácido.	Ver tablas 18, 19 y 20
Más de	NOx Disueltos	10. Baja temperatura de la corriente.	Los mayores costos de operación. Igual que 9.	Ver tablas 18, 19 y 20
Otros	Mantenimiento	11. Falla del equipo, pérdida de brida, cambio de catalizador en el reactor, etc.	Detener el proceso.	Asegúrese de que todas las tuberías y los accesorios están contruidos con los materiales adecuados.

Tabla 23 Circuito de refrigeración con agua.

Circuito de refrigeración con agua.				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
No	No hay flujo	1. Fallo de la bomba.	Altas emisiones de NOx en los gases de salida.	a) Instalar alarma de nivel alto en TIC en la línea de salida gas de cola para indicar altas emisiones.
		2. La válvula no cierra	En cuanto a 1. Sobrecalentamiento de la válvula.	Cubierto por a) b) Instalar válvula check en las bombas.
		3. Línea fracturada.	En cuanto 1 y 2.	Cubierto por a) y b) c) La inspección regular y el patrullaje de las líneas del circuito de agua de refrigeración.
Más	Mayor flujo	4. La válvula de control no abre.	El ácido producto está a la temperatura más baja, por lo tanto, mayor cantidad disuelto de NOx.	d) Instale una alarma de nivel bajo en TIC en la línea de salida del gas de cola.
	Mayor temperatura	5. Superior temperatura de alimentación a la unidad de refrigeración. 6. El fallo en la unidad de refrigeración.	Posibles emisiones de NOx, más altas debido a la menor absorción. En cuanto a 5.	Cubierto por a) e) La unidad de refrigeración está muy bien cuidada, con un control adecuado.

Circuito de refrigeración con agua.				
Palabra clave	Desviación	Causa Posible	Consecuencia	Acción Requerida
	Mayor presión	7. La válvula de aislamiento está cerrada y la bomba esté en funcionamiento. 8. La expansión térmica en la sección de la válvula de aislamiento (fuego).	Líneas sujetas a presión. Posible fractura de línea o fuga de brida.	Cubierto por b) y f), la instalación de un indicador de presión en la descarga de la bomba. g) Proporcionar alivio de expansión térmica en la sección de válvula
Menos	Menor flujo Menor temperatura	9. Fuga de brida o ramal de blanqueó con fugas. 10. Mayor refrigeración.	Disminución de la absorción. Producto de baja calidad y altas emisiones. El aumento de las concentraciones de NOx en el producto ácido.	Cubierto por a), c) y d) Cubierto por a), c) y d).
Otro	Mantenimiento	11. Falla del equipo, pérdida de brida, cambio de catalizador, etc.	Detener el proceso	Asegúrese de que todas las tuberías y los accesorios están contruidos con los materiales adecuados.

A continuación se presenta el Diagrama de Tubería e Instrumentación, adicionando la información faltante.



EQUIPO		VALVULA	
E-101 VAPORIZADOR DE AMONIACO.	E-111 ENFRIADOR FASE 1.	P-102 BOMBA DE ACIDO.	A-101 TANQUE DE AGUA.
E-102 SOBRECALENTADOR DE AMONIACO.	E-112 ENFRIADOR DEL COMPRESOR.	P-103 BOMBA DE AGUA.	O-101 UNIDAD DE OXIDACION.
E-103 CALENTADOR DE GAS.	E-113 CONDENSADOR.	P-104 BOMBA DE AGUA.	V-101 VALVULA.
E-104 SOBRECALENTADOR DE VAPOR.	E-114 UNIDAD DE REFRIGERACION.	P-105 BOMBA DE AGUA.	V-102 VALVULA.
E-105 CALDERA DE CALOR DE DESECHO.	R-101 REACTOR.	VL-101 SEPARADOR LIQUIDO VAPOR	V-103 VALVULA.
E-106 CALENTADOR DE GAS.	F-101 FILTRO DE AMONIACO.	D-101 DESAIRADOR.	V-104 VALVULA.
E-107 CONDENSADOR.	F-102 FILTRO DE AIRE.	TU-101 TURBINA.	V-105 VALVULA.
E-108 CALENTADOR DE GAS DE SALIDA.	C-101 COLUMNA DE ABSORCION.	TU-102 TURBINA.	V-106 VALVULA.
E-109 ENFRIADOR.	C-102 COLUMNA DE BLANQUEO.		V-107 VALVULA.
E-110 ENFRIADOR FASE 2.	P-101 BOMBA DE ACIDO.		V-108 VALVULA.
			V-109 VALVULA.
			V-110 VALVULA.
			V-111 VALVULA.
			V-112 VALVULA.
			V-113 VALVULA.
			V-114 VALVULA.
			V-115 VALVULA.
			V-116 VALVULA.
			V-117 VALVULA.
			V-118 VALVULA.
			V-119 VALVULA.
			V-120 VALVULA.
			V-121 VALVULA.
			CH-101 VALVULA CHECK.
			CH-102 VALVULA CHECK.
			CH-103 VALVULA CHECK.
			CH-104 VALVULA CHECK.
			CH-105 VALVULA CHECK.
			VC-101 VALVULA DE CONTROL.
			VC-102 VALVULA DE CONTROL.
			VC-103 VALVULA DE CONTROL.
			VC-104 VALVULA DE CONTROL.
			VC-105 VALVULA DE CONTROL.
			VC-106 VALVULA DE CONTROL.
			VC-107 VALVULA DE CONTROL.
			VC-108 VALVULA DE CONTROL.
			VC-109 VALVULA DE CONTROL.
			VC-110 VALVULA DE CONTROL.
			VC-111 VALVULA DE CONTROL.
			VC-112 VALVULA DE CONTROL.
			VC-113 VALVULA DE CONTROL.
			VC-114 VALVULA DE CONTROL.
			VC-115 VALVULA DE CONTROL.
			VC-116 VALVULA DE CONTROL.
			VC-117 VALVULA DE CONTROL.
			VC-118 VALVULA DE CONTROL.
			VC-119 VALVULA DE CONTROL.
			VC-120 VALVULA DE CONTROL.
			VC-121 VALVULA DE CONTROL.
			VC-122 VALVULA DE CONTROL.
			VC-123 VALVULA DE CONTROL.
			VC-124 VALVULA DE CONTROL.
			VC-125 VALVULA DE CONTROL.
			VC-126 VALVULA DE CONTROL.

NOTA 2: DTI PARA INGENIERIA BASICA.

NOTA 1: LINEA DE ARRANQUE.

A1: ACERO INOXIDABLE 302.

A2: ACERO INOXIDABLE 316.

LÍNEA	DE	HACIA	FLUJO (kg/h)	PRESIÓN (kPa)	TEMPERATURA (°C)	MATERIAL	DIAMETRO (in)	CÉDULA	AISLANTE	ESPESOR AISLANTE (mm)
P-101	Límite de batería	E-101	2006	1240	-15	Acero Inoxidable 302	1	40	Poliestireno celular NC-11	25
P-102	E-101	F-101	2006	1240	35	Acero Inoxidable 302	1/8	40	-----	-----
P-103	F-101	E-102	2006	1240	35	Acero Inoxidable 302	1/8	40	-----	-----
P-104	E-102	M-101	2006	1220	177	Acero Inoxidable 302	3/8	40	Perlita expandida. Código NC-9	64
P-105	M-101	R-101	31760	1060	250	Acero Inoxidable 302	12	40	Perlita expandida. Código NC-9	114
P-106	R-101	E-104	31760	1035	645	Acero Inoxidable 302	16	40	Perlita expandida. Código NC-9	191
P-107	P-106	P-108	31760	1035	645	Acero Inoxidable 302	16	40	Perlita expandida. Código NC-9	191
P-108	E-104	E-105	31760	1025	595	Acero Inoxidable 302	16	40	Perlita expandida. Código NC-9	191
P-109	O-101	E-109	32936	1000	140	Acero Inoxidable 316	10	40	Perlita expandida. Código NC-9	89
P-110	O-101	P-101	5531	1015	66	Acero Inoxidable 302	1 1/4	40	Perlita expandida. Código NC-9	38
P-111	P-101	C-101	5531	1015	65	Acero Inoxidable 302	1 1/4	40	Perlita expandida. Código NC-9	38
P-112	C-101	P-102	12127	990	45	Acero Inoxidable 302	2	40	Perlita expandida. Código NC-9	38
P-113	P-102	C-102	12127	990	45	Acero Inoxidable 302	2	40	Perlita expandida. Código NC-9	38
P-114	C-102	O-101	6760	1020	50	Acero Inoxidable 316	4	40	Perlita expandida. Código NC-9	38
P-115	E-109	C-101	32936	995	65	Acero Inoxidable 316	10	40	Perlita expandida. Código NC-9	38
P-116	C-101	E-108	28678	980	10	Acero Inoxidable 316	8	40	-----	-----
P-117	E-108	E-106	28678	970	47	Acero Inoxidable 316	8	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	38
P-118	E-106	E-103	28678	960	235	Acero Inoxidable 316	12	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	114
P-119	E-103	TE-102	28678	950	620	Acero Inoxidable 316	16	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	191
P-119-1	P-119	P-120	28678	950	620	Acero Inoxidable 316	16	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	191
P-120	TE-102	E-110	28678	950	620	Acero Inoxidable 316	16	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	191
P-121	E-111	Límite de batería	28678	900	210	Acero Inoxidable 316	12	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	114
P-122	Límite de batería	F-102	36000	99	35	Acero Inoxidable 316	24	40	-----	-----
P-123	F-102	T-101	36000	99	35	Acero Inoxidable 316	24	40	-----	-----
P-124	T-101	E-112	36000	310	180	Acero Inoxidable 316	24	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	114
P-125	P-124	P-123	36000	310	180	Acero Inoxidable 316	24	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	114
P-126	E-112	T-102	36000	300	45	Acero Inoxidable 316	18	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	51
P-127	T-102	E-108	36000	1090	232	Acero Inoxidable 316	12	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	114
			6300	1090	232	Acero Inoxidable 316	5	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	102
P-128	P-127	R-101	29700	1090	232	Acero Inoxidable 316	8	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	114
P-129	R-101	M-101	29700	1090	262	Acero Inoxidable 316	8	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	127
P-130	E-108	C-102	6300	1070	80	Acero Inoxidable 316	4	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	64
P-131	P-124	P-109	36000	310	180	Acero Inoxidable 316	12	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	102
P-132	P-131	P-128	29700	310	180	Acero Inoxidable 316	8	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	102
P-133	P-103	C-101	2338	995	7	Acero Inoxidable 316	5	40	-----	-----
P-134	P-115	P-129	36000	310	45	Acero Inoxidable 316	8	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	38
P-135	C-102	Límite de batería	11667	990	55	Acero Inoxidable 302	4	40	Silicato de calcio NC-1 Clase II	38

6 CONCLUSIÓN

El Diagrama de Tubería e Instrumentación es un documento en el cual está contenida gran cantidad de información del proyecto, ya que para llevarlo a cabo se requiere de documentos predecesores. Debido a esto la elaboración está constituida por una serie de etapas definidas, para así asegurar que contenga la información precisa y los instrumentos necesarios para que el proceso se lleve a cabo de manera segura y normal.

Las Bases y Criterios de diseños al ser los primeros documentos del proyecto pueden no contener la información necesaria para iniciar la elaboración del DTI por lo que el Diagrama de Flujo de Procesos y una detallada Descripción del Proceso son un requisito para iniciar su elaboración.

Al realizar las filosofías de operación se asegura que el diagrama contenga las líneas y los equipos necesarios para llevar a cabo el arranque, la operación normal, paro normal y paro de emergencia del proceso. El análisis HAZOP indica posibles acciones que puedan suceder en el proceso, debido a esto se llevaran a cabo estrategias para controlar dichas acciones completando el diagrama con instrumentos, válvulas o equipos.

Es necesario adquirir conocimientos fundamentales de instrumentación para poder comprender lo contenido en el Diagrama de Tubería e Instrumentación, de igual manera la elaboración de dichos diagramas ha requerido que la persona encargada de generarlo adquiriera conocimiento de software especializado, utilizado para su elaboración.

7 APÉNDICE I. TABLAS DE ESPESORES DE AISLANTES TÉRMICOS

Tabla 25 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Alta Temperatura. Colcha de Lana de Roca (144 kg/m³) Código NC-8.

COLCHA DE LANA DE ROCA TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN K (°C)													
Diámetro Nominal (mm)	Hasta 333 (60)	Hasta 373 (100)	Hasta 423 (150)	Hasta 473 (200)	Hasta 523 (250)	Hasta 573 (300)	Hasta 623 (350)	Hasta 673 (400)	Hasta 723 (450)	Hasta 773 (500)	Hasta 823 (550)	Hasta 823 (600)	Hasta 923 (650)
152	25	51	64	64	76	89	102	127	127	127	140	152	152
203	25	51	64	76	89	89	102	127	127	140	152	152	165
254	25	51	64	76	89	102	114	127	127	140	152	165	165
305	25	51	64	76	89	102	114	127	127	152	152	165	178
356	25	51	64	76	89	102	114	127	140	152	165	165	178
406	25	51	64	76	89	102	114	127	140	152	165	178	178
457	25	51	64	76	89	102	114	127	140	152	165	178	191
508	25	51	64	76	89	102	114	127	140	165	165	178	191
559	25	51	64	76	89	102	127	140	140	165	165	178	191
610	25	51	64	76	89	114	127	140	140	165	178	191	191
660	25	51	64	76	102	114	127	140	140	165	178	191	191
711	25	51	64	76	102	114	127	140	152	165	178	191	203
762	25	51	64	76	102	114	127	140	152	165	178	191	203
S.P	25	51	64	76	102	114	127	152	152	178	191	203	203

Notas:

- Espesor de aislante en mm.
- No se incluye el espesor de acabado en los espesores.
- S.P= Superficies planas o diámetros mayores a 762 mm.
- Temperatura ambiente= 298K (25°C)

Tabla 26 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Alta Temperatura. Silicato de Calcio (240Kg/m³). Código NC-1 Clase II.

SILICATO DE CALCIO													
TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN K (°C)													
Diámetro Nominal (mm)	Hasta 333 (60)	Hasta 373 (100)	Hasta 423 (150)	Hasta 473 (200)	Hasta 523 (250)	Hasta 573 (300)	Hasta 623 (350)	Hasta 673 (400)	Hasta 723 (450)	Hasta 773 (500)	Hasta 823 (550)	Hasta 873 (600)	Hasta 923 (650)
13	25	51	51	64	76	76	76	89	89	102	102	102	102
19	38	51	51	64	76	76	89	89	89	102	102	102	102
25	38	51	64	64	76	89	89	102	102	102	114	114	114
38	38	51	64	76	89	89	102	102	102	114	114	114	127
51	38	51	64	76	89	89	102	114	114	127	127	127	127
64	38	51	64	76	89	102	102	114	114	127	127	127	127
76	38	64	76	76	89	102	114	114	127	127	140	140	140
102	38	64	76	89	102	114	114	127	127	140	140	140	140
127	38	64	76	89	102	114	127	127	140	140	152	152	152
152	38	64	76	89	102	114	127	140	140	152	152	152	152
203	38	64	76	102	114	127	127	140	152	152	165	165	165
254	38	64	89	102	114	127	140	152	152	165	165	165	178
305	51	76	89	102	114	127	140	152	152	165	178	178	178
356	51	76	89	102	114	127	140	152	165	178	178	178	178
406	51	76	89	102	127	140	152	152	165	178	178	191	191
457	51	76	89	114	127	140	152	165	165	178	191	191	191
508	51	76	89	114	127	140	152	165	165	178	191	191	191
559	51	76	89	114	127	140	152	165	178	191	191	191	191
610	51	76	89	114	127	140	152	165	178	191	191	191	203
660	51	76	89	114	127	140	152	165	178	191	191	203	203
711	51	76	89	114	127	140	152	165	178	191	191	203	203
762	51	76	89	114	127	152	165	178	178	191	203	203	203
S.P	51	76	102	114	140	152	165	178	191	203	216	216	216

Notas:

- Espesor de aislante en mm.
- No se incluye el espesor de acabado en los espesores.
- S.P= Superficies planas o diámetros mayores a 762 mm.
- Temperatura ambiente= 298K (25°C)

Tabla 27 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Alta Temperatura. Colcha de fibra de vidrio (48 kg/m³). Código NC-4.

COLCHA DE FIBRA DE VIDRIO									
TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN K (°C)									
Diámetro Nominal (mm)	Hasta 333 (60)	Hasta 373 (100)	Hasta 423 (150)	Hasta 473 (200)	Hasta 523 (250)	Hasta 573 (300)	Hasta 623 (350)	Hasta 673 (400)	Hasta 723 (450)
152	25	38	51	64	76	89	102	114	127
203	25	51	51	64	76	102	114	127	140
254	25	51	64	64	89	102	114	127	140
305	25	51	64	76	89	102	114	127	140
356	25	51	64	76	89	102	114	140	152
406	25	51	64	76	89	102	114	140	152
457	25	51	64	76	89	102	127	140	152
508	25	51	64	76	89	102	127	140	152
559	25	51	64	76	89	102	127	140	152
610	25	51	64	76	89	114	127	140	165
660	25	51	64	76	89	114	127	140	165
711	25	51	64	76	89	114	127	152	165
762	25	51	64	76	89	114	127	152	165
S.P	25	51	64	76	102	114	140	165	178

Notas:

- Espesor de aislante en mm.
- No se incluye el espesor de acabado en los espesores.
- S.P= Superficies planas o diámetros mayores a 762 mm.
- Temperatura ambiente= 298K (25°C)

Tabla 28 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Baja Temperatura y Anticondensado. Preformado de fibra de vidrio (80kg/m3). Código NC-2.

PREFORMADO DE FIBRA DE VIDRIO				
TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN K (°C)				
Diámetro Nominal (mm)	Hasta 283 (10)	Hasta 273 (0)	Hasta 263 (-10)	Hasta 243 (-30)
13	25	25	25	25
19	25	25	25	25
25	25	25	25	38
38	25	25	25	38
51	25	25	25	38
64	25	25	25	38
76	25	25	25	38
102	25	25	25	38
127	25	25	38	38
152	25	25	38	51
203	25	25	38	51
254	25	25	38	51
305	25	25	38	51
356	25	25	38	51
406	25	25	38	51
457	25	25	38	51
508	25	25	38	51
610	25	25	38	51
660	25	25	38	51
711	25	25	38	51
762	25	25	38	51

Notas:

- Espesor de Aislante en mm.
- No se incluye el espesor de acabado.
- Condiciones: Temperatura ambiente= 303 K (30°C), Humedad Relativa= 70%, Velocidad de Aire 6.26 km/h, Temperatura de rocío= 297K, Emisividad del acabado= 0.7

Tabla 29 Espesores de Aislamiento Térmico para conservación de Energía en Baja Temperatura y Anticondensación. Poliuretano celular (32 kg/m³). Código NC-12.

POLIURETANO CELULAR						
TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN K (°C)						
Diámetro Nominal (mm)	Hasta 283 (10)	Hasta 273 (0)	Hasta 263 (-10)	Hasta 243 (-30)	Hasta 223 (-50)	Hasta 198 (-75)
13	25	25	25	38	38	51
19	25	25	25	38	38	51
25	25	25	25	38	38	51
38	25	25	38	38	51	51
51	25	25	38	51	51	51
64	25	25	38	51	51	64
76	25	38	38	51	64	64
102	25	38	38	51	64	64
127	25	38	38	51	64	64
152	25	38	38	51	64	76
203	25	38	38	64	64	76
254	25	38	51	64	64	76
305	25	38	51	64	76	76
356	25	38	51	64	76	76
406	25	38	51	64	76	89
457	25	38	51	64	76	89
508	25	38	51	64	76	89
610	25	38	51	64	76	89
660	25	38	51	64	76	89
711	25	38	51	64	76	89
762	25	38	51	64	76	89
S.P	25	38	64	76	89	102

Notas:

- Espesor de Aislante en mm.
- No se incluye el espesor de acabado.
- S.P= Superficies planas o diámetros mayores a 762 mm.
- Condiciones: Temperatura ambiente= 303k (30°C), Humedad Relativa= 80%, Velocidad de Aire 6.26 km/h, Temperatura de rocío= 297K, Emisividad del acabado= 0.7

Tabla 30 Espesor de Aislante Térmico para Conservación de Energía en Baja Temperatura y Anticondensación. Poliestireno celular (32 kg/m3). Código NC-11.

POLIESTIRENO CELULAR						
TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN K (°C)						
Diámetro Nominal (mm)	Hasta 283 (10)	Hasta 273 (0)	Hasta 263 (-10)	Hasta 243 (-30)	Hasta 223 (-50)	Hasta 198 (-75)
13	25	25	25	25	25	38
19	25	25	25	25	38	38
25	25	25	25	25	38	38
38	25	25	25	38	38	38
51	25	25	25	38	38	51
64	25	25	25	38	38	51
76	25	25	25	38	38	51
102	25	25	25	38	38	51
127	25	25	25	38	51	51
152	25	25	25	38	51	51
203	25	25	25	38	51	64
254	25	25	38	38	51	64
305	25	25	38	38	51	64
356	25	25	38	51	51	64
406	25	25	38	51	51	64
457	25	25	38	51	51	64
508	25	25	38	51	51	64
610	25	25	38	51	51	64
660	25	25	38	51	51	64
711	25	25	38	51	51	64
762	25	25	38	51	51	64
S.P	25	38	38	64	64	76

Nota

- Espesor de Aislante en mm.
- No se incluye el espesor de acabado.
- S.P= Superficies planas o diámetros mayores a 762 mm.
- Condiciones: Temperatura ambiente= 303k (30°C), Humedad Relativa= 70%, Velocidad de Aire 6.26 km/h, Temperatura de rocío= 297K, Emisividad del acabado= 0.7

8 LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Típica Identificación de Instrumentos.	4
Tabla 2 Letras para la identificación de instrumentos.	6
Tabla 3 Nomenclatura AISI.	20
Tabla 4 Aceros Inoxidables comúnmente utilizados en la industria.	21
Tabla 5 Velocidades Sugeridas de Fluidos en Tuberías. Líquidos, gases y vapores a baja presión hasta 50psig y 50-100°F.	25
Tabla 6 Propiedades de la lana de roca.	27
Tabla 7 Dimensiones de la lana de roca.	28
Tabla 8 Propiedades de la fibra de vidrio.	28
Tabla 9 Dimensiones de la fibra de vidrio.	29
Tabla 10 Propiedades de la perlita expandida.	30
Tabla 11 Dimensiones de la perlita expandida.	31
Tabla 12 Propiedades del silicato de calcio.	31
Tabla 13 Dimensiones del silicato de calcio.	32
Tabla 14 Máxima transferencia de calor permisible a través del sistema termoaislante. [W/m] para tuberías y [W/m ²] para superficies planas.	36
Tabla 15 Diámetro de tuberías para la producción de ácido nítrico.	56
Tabla 16 Espesor del aislante en las líneas de producción de ácido nítrico.	57
Tabla 17 Criterios de diseño importantes de la columna de absorción.	58
Tabla 18 Corriente de condensado de ácido débil.	59
Tabla 19 Corriente de Alimentación de agua.	61
Tabla 20 Corriente de gas de entrada.	63
Tabla 21 Flujo de gas de salida.	65
Tabla 22 Corriente de salida líquida.	67
Tabla 23 Circuito de refrigeración con agua.	69
Tabla 24 Índice de Líneas.	72
Tabla 25 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Alta Temperatura. Colcha de Lana de Roca (144 kg/m ³) Código NC-8.	74
Tabla 26 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Alta Temperatura. Silicato de Calcio (240Kg/m ³). Código NC-1 Clase II.	75

Tabla 27 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Alta Temperatura. Colcha de fibra de vidrio (48 kg/m ³). Código NC-4.	76
Tabla 28 Espesor de Aislamiento Térmico para Conservación de Energía en Baja Temperatura y Anticondensado. Preformado de fibra de vidrio (80kg/m ³). Código NC-2.	77
Tabla 29 Espesores de Aislamiento Térmico para conservación de Energía en Baja Temperatura y Anticondensación. Poliuretano celular (32 kg/m ³). Código NC-12.....	78
Tabla 30 Espesor de Aislante Térmico para Conservación de Energía en Baja Temperatura y Anticondensación. Poliestireno celular (32 kg/m ³). Código NC-11.....	79

9 LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Simbología de localización de instrumentos.	9
Figura 3 Simbología Líneas de Instrumentos	10
Figura 4 Simbología de Válvulas.....	11
Figura 5 Simbología de Accesorios.....	12
Figura 6 Diagrama de determinación del espesor óptimo de aislante.....	35
Figura 7 Esquema de Proceso de Producción de Ácido Nítrico, desarrollado por C&I Girdler.	40
Figura 8 Diagrama de Flujo de Proceso.....	46
Figura 9 Diagrama de Tubería e Instrumentación para el arranque de la planta. .	49
Figura 10 Diagrama de Tubería e Instrumentación para la operación normal.	53
Figura 11 Diagrama de Tubería e Instrumentación para Planta de Ácido Nítrico..	71

10 BIBLIOGRAFÍA

ANSI/ISA-S5.1-1984 Instrumentation Symbols and Identification. (1992).

NOM-009-ENER-1995 Eficiencia Energética en Aislamientos Térmico Industriales. (1995).

NRF-034-PEMEX-2011 Aislamientos Térmicos para Altas Temperaturas en Equipos, Recipientes y Tubería Superficial. (2011).

Alejandro Anaya Durand, R. B. (2013). Manual de Temas Selectos de Ingeniería de Proyectos. México, Distrito Federal: UNAM.

Branan, C. R. (2002). RULES OF THUMB FOR CHEMICAL ENGINEERS (3 ed.). Gulf Professional Publishing.

Kern, D. Q. (1999). Procesos de Transferencia de Calor. Compañía Editorial Continental.

Martyn S. Ray & David W. Johnston. (1989). CHEMICAL ENGINEERING DESIGN PROJECT. A Case Study Approach. (1, Ed.) New York: GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS.

Max S. Peters & Klaus D. Timmerhaus. (1991). PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS (4 ed.). McGraw-Hill.

Robert H. Perry & Cecil H. Chilton. (1994). Manual del Ingeniero Químico (5 ed.). McGraw-Hill.