Alumno:_____ **eMail:**_____

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL ROSARIO

Departamento de Ingeniería Química
Cátedra: Diseño, Simulación, Optimización y Seguridad de Procesos

Práctica en clases 2026

1- Sea el proceso cuyo P&ID de flujo se representa en la figura con la siguientes consignas:

Hipótesis:

A) Reactor: R-1

- Con reacción química en fase líquida cuya cinética es:

$$A \leftrightarrow 3B$$

$$\left(-r_A\right) = k_D \times C_A - K_I \times C_b^3$$

- Reacción fuertemente exotérmica: ($\Delta HR<0$).
- Enfriado por agua de enfriamiento $(UA)_R$ dato.
- Opera a muy alta presión.

B) Flash: Fl-1

- Adiabático.
- Sin reacción química.
- Opera a alta presión pero menos que el reactor.

C) Bombas Centrífugas: BC-1 y BC-2

- Elevan la presión de la recirculación (ΔP_{BC} conocido).
- No hay cambio en otras propiedades incluyendo cambio de estado.
- La BC-2 de flujo conocido y constante.

D) Tanques de almacenamiento: TK-1 y TK-2

- Dimensiones conocidas.
- TK-1 atmosférico y TK-2 presión media esférico

E) Intercambiadores: IC-1 e IC-2

- No hay cambio de fases en ninguna de las corrientes.
- Caídas de presión nulas.

F) Corrientes

- F_0: Corriente liquida de A de temperatura, presión y flujo conocidos. Inflamable, volátil.

- El producto B no es inflamable pero sí es tóxico, soluble en agua y produce humos tóxicos al quemarse.
- Las corrientes de agua de enfriamiento de composición, presión y temperatura conocidas.

G) Válvulas de control

Asuma la siguiente expresión general para el cálculo del caudal en las válvulas:

$$Q = C_{vi}\sqrt{\frac{(P_e - P_s)_i}{\rho_{fi}}}$$

Siendo P_e la presión de entrada y P_s la de salida, ρ_{fi} la densidad del fluido. La conductividad C_{vi} (con i de 1 a 4) depende de la ley de control:

$$C_{vi} = \alpha_i^{\,AC_i}$$

Siendo AC_i la acción total de control de la válvula i:

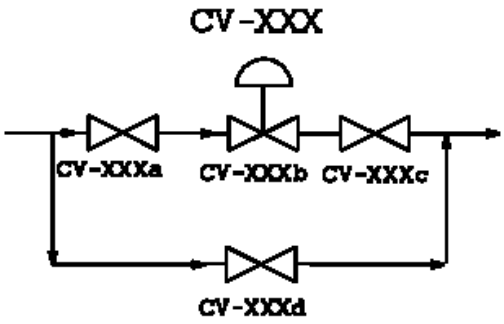
$$AC_i = AP_i + AI_i + AD_i + A0_i$$

Siendo AP_i la acción proporcional del controlador i, AI_i la acción integral y AD_i la derivativa. El término $A0_i$ es constante y conocido. Q es caudal volumétrico.

Los controladores de nivel son PID, el de temperatura PI y el de presión P, siendo sus coeficientes datos conocidos.

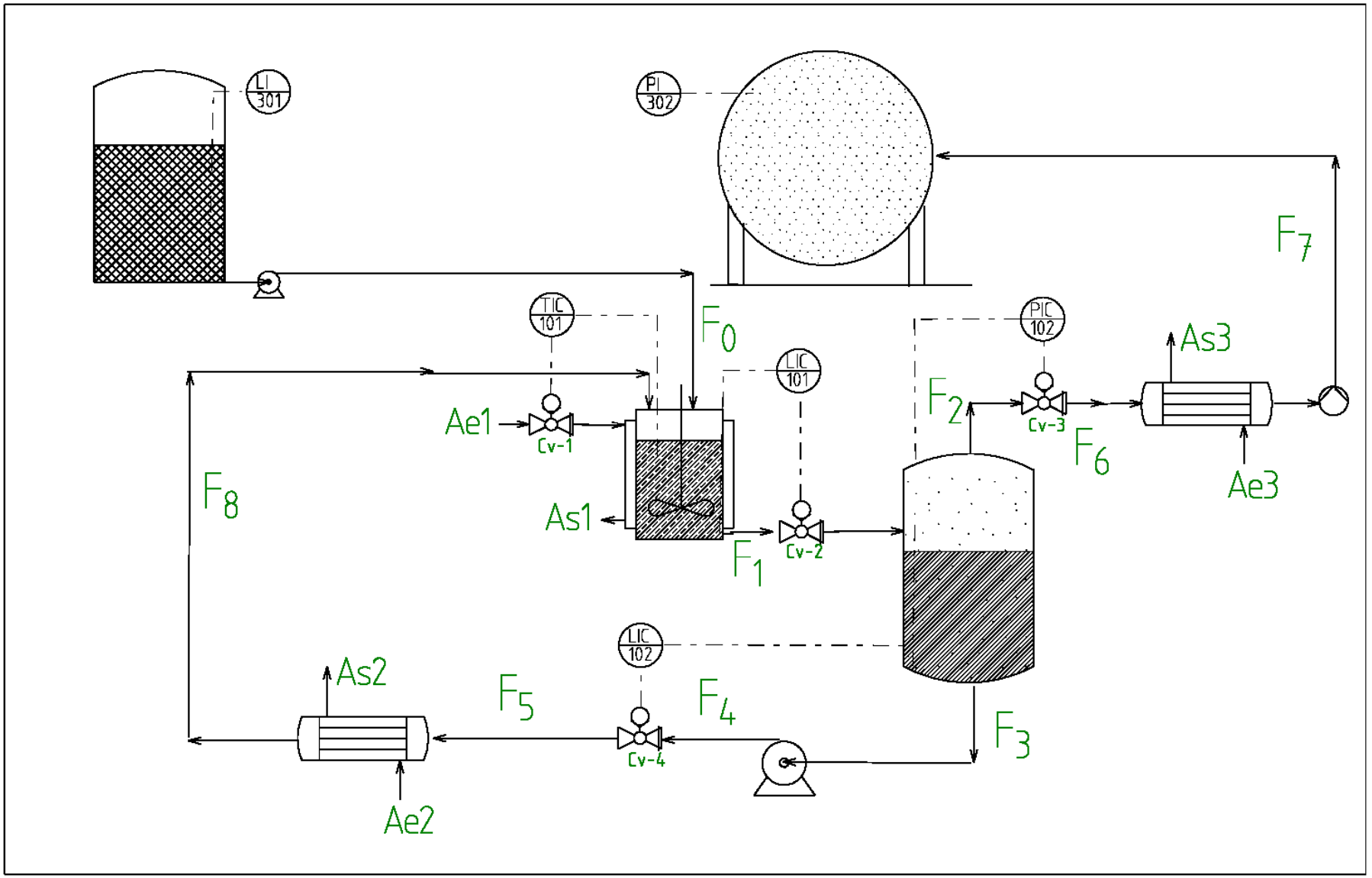
Plantear:

1. Listar en documento aparte las modificaciones que propondría incluyendo las válvulas faltantes en equipos como válvulas de control, bombas centrífugas, etc.



2. Agregar una segunda lista con las salvaguardas que crea necesario incluyendo, válvulas de seguridad, enclavamientos, alarmas, etc.
3. Volcar las modificaciones consideradas al P&ID.
4. Con el P&ID consolidado realizar un análisis HAZOP:
    - Nodo 1: desde TK-1 hasta R-1.
    - Nodo 2: desde R-1 hasta FL-1.
    - Nodo 3 desde Fl-1 hasta R-1 pasando por IC-1.
    - Nodo 4: desde FL-1 hasta TK-2 pasando por C-1.

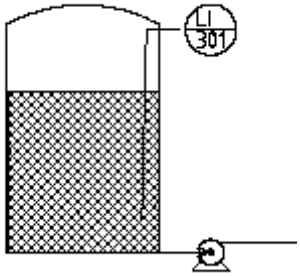
ТК-1 ВС-2 R-1 ТК-2 Fl-1 C-1



IC-1 BC-1 IC-2

Salvaguardas y modificaciones del proceso

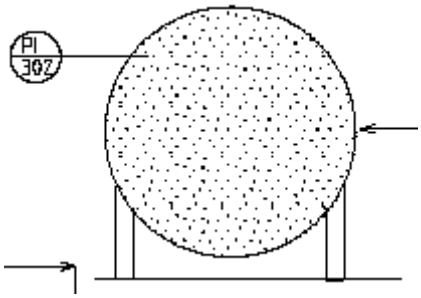
Tanque: TK-1 (sustancia A)



El tanque contiene un material inflamable y volátil. Por ser atmosférico requiere medidas especiales de seguridad a saber:

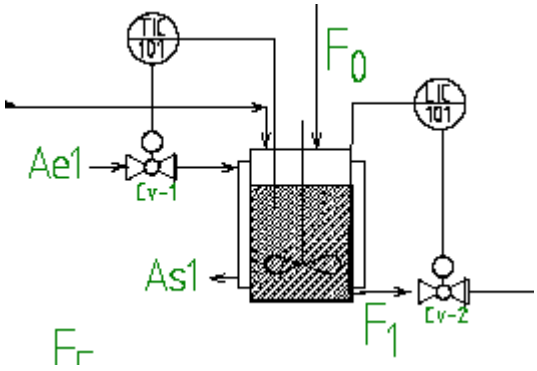
- Válvula de presión y vacío para compensar las etapas de vaciado y llenado.
- Disco de ruptura.
- Tanto la válvula de alivio como el disco de ruptura deben ventear a una línea a antorcha (flare).
- En caso de vacío con gas inerte.
- Sistema antiincendios: anillo de aspersores y monitores cercanos.
- Dique anti derrame con volumen y dimensiones adecuadas. Por norma el volumen de 110 % de capacidad del tanque y dimensiones tales que ninguna pinchadura del mismo origine una vena que caiga por fuera del mismo. Por otro lado se recomienda que la altura no sea más de 1,80 [m] para poder acceder desde afuera con equipo extintor de incendio.
- Red de detectores de mezcla inflamable considerando las direcciones predominantes del viento.
- Completar el diagrama incorporando la línea de alimentación con válvula de enclavamiento.
- Completar el cuadro de válvulas de la bomba (2 en serie, 1 aguas arriba y otra, aguas abajo) incluyendo válvula de retención
- Incorporar alarmas de alto y bajo nivel.
- Incorporar alarma por muy bajo nivel que enclave salida.
- Incorporar alarma por muy alto nivel que enclave entrada (durante las tareas de llenado).
- Independizar las señales.

Tanque: TK-2 (sustancia B)



- Por ser presurizado es más resistente pero de todos modos incorporar válvula de alivio y disco de ruptura.
- Por ser su contenido gaseoso no es recomendable nada que pueda formar bolsones de gas no requiriendo dique de contención.
- La sustancia además de ser gaseosa es tóxica por lo que no puede ventarse a la atmósfera ni tampoco a antorcha porque sus productos de combustión son tóxicos.
- Los venteos deberán poder confinarse en un tanque de repuesto o en su defecto pasarse por un lavador de gases (scrubber) aprovechando su solubilidad en agua y enviar la solución para su correcta disposición.
- Red de detectores de toxicidad considerando las direcciones predominantes del viento.
- Alarmas de alta presión.
- Incorporar al diagrama la línea de descarga con sus instrumentos correspondientes.
- Aun no siendo inflamable, un anillo de agua por encima podría diluir los gases emitidos por algún orificio además de poder refrigerarlo en caso de estar sometido a la radiación de algún incendio cercano. Procurar rejilla inferior que recoja la solución obtenida.
- Un monitor de incendio.

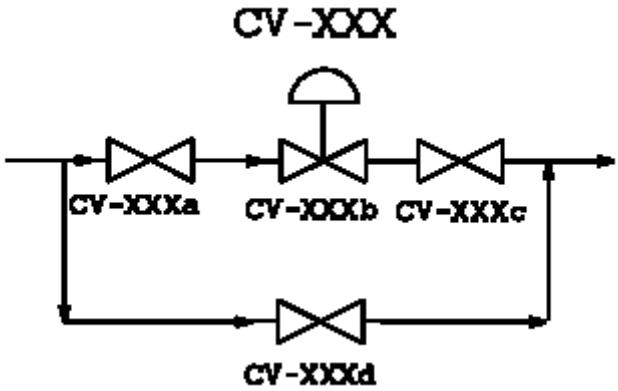
Reactor: R-1



Por ser un equipo a presión permite operar en condiciones más desfavorables requiriendo no obstante:

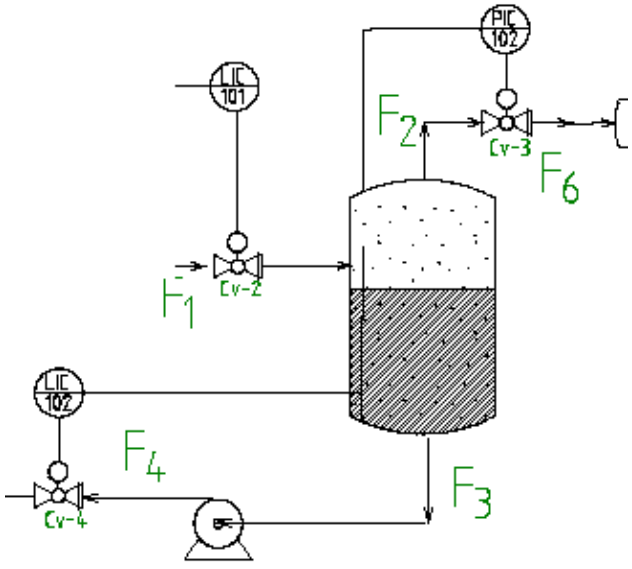
- Válvula de presión y vacío.

- El vacío se puede compensar con gas inerte.
- Estudiar la conveniencia de alternativas de venteos (a flare vs scrubber) en función de su contenido relativo (A vs B).
- Ante posibilidad de derrame verificar existencia de rejillas y sistema de drenajes adecuados.
- Completar cuadros de válvulas para el control del mismo (Temperatura y nivel) con la codificación siguiente:



- Incorporar cuadro de válvulas y controlador de flujo para el suministro de reactante (A) a fin de garantizar tiempos de residencia, conversión y operabilidad del reactor.
- Alarma de alta temperatura.
- Alarma por muy alta temperatura que abra por completo la válvula CV-1 y/o enclave la alimentación (control de flujo propuesto antes).
- Alarma por alto nivel.
- Alarma por muy alto nivel que enclave la entrada.
- Alarma por bajo nivel.
- Alarma por muy bajo nivel que enclave la salida (válvula y bomba).

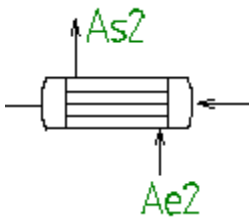
Separador flash: Fl-1



Equipo adiabático pensado para operar a cierta presión que produce la separación de fases por caída de la misma.

- Válvula de presión y vacío.
- El vacío se puede compensar con gas inerte.
- Estudiar la conveniencia de alternativas de venteos (principalmente a scrubber debido al mayor contenido de B en el vapor).
- Ante posibilidad de derrame verificar existencia de rejillas y sistema de drenajes adecuados.
- Completar cuadros de válvulas para el control del mismo (Nivel y presión).
- Completar cuadros de válvulas para la bomba BC-1 adicionando otra de spare.
- Alarma de alta presión.
- Alarma por muy alta presión que enclave la alimentación (CV-2).
- Alarma por alto nivel.
- Alarma por muy alto nivel que enclave la entrada (CV-2 y/o bomba y/o CV-3).
- Alarma por bajo nivel.
- Alarma por muy bajo nivel que enclave la salida.

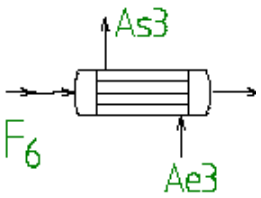
Intercambiador: IC-1



El equipo opera en el circuito de alta presión.

- Incorporar válvulas de alivio tanto en tubos como en coraza, en el primer caso venteando a antorcha (A en más abundancia) mientras que la coraza por ser sólo agua hacia la atmósfera a sitio seguro.
- Indicadores de temperatura de entrada y salida que permita monitorear su funcionamiento como así estimar el nivel de ensuciamiento para limpiezas programadas.
- Alarmar las temperaturas de salida por alto nivel y apretura total del AE2 ante muy alta temperatura.
- Incorporar las válvulas faltantes en circuito de agua de enfriamiento.
- Ante posibilidad de derrame verificar existencia de rejillas y sistema de drenajes adecuados.
- Monitorear la calidad del agua ante posibilidad de pinchaduras en tubos que incorpore las sustancias de proceso en el mismo (principalmente A, inflamable) que eventualmente serían liberadas a la atmósfera en la torre de enfriamiento.

Intercambiador: IC-2



El equipo opera en el circuito de media presión.

- Incorporar válvulas de alivio tanto en tubos como en coraza, en el primer caso venteando a scrubber (B) mientras que la coraza por ser sólo agua hacia la atmósfera a sitio seguro.
- Indicadores de temperatura de entrada y salida que permita monitorear su funcionamiento como así estimar el nivel de ensuciamiento para limpiezas programadas.
- Alarmar las temperaturas de salida por alto nivel y apretura total del AE2 ante muy alta temperatura.
- Incorporar las válvulas faltantes en circuito de agua de enfriamiento.
- Ante posibilidad de derrame verificar existencia de rejillas y sistema de drenajes adecuados.
- Monitorear la calidad del agua ante posibilidad de pinchaduras en tubos que incorpore las sustancias de proceso en el mismo (principalmente A, inflamable) que eventualmente serían liberadas a la atmósfera en la torre de enfriamiento.
- Incorporar un knockout pot (separador LV) con demister (denebulizador) para evitar mandar gotas de liquido al compresor.

Compresor: C-1



Actualizar el diagrama incorporando:

- Sistema antisurge (reciclo desde descarga a succión para evitar, en caso de cierre de alguna válvula de entrada o salida que el equipo alcance presiones peligrosas por tratarse de equipo de acción positiva)-
- Incorporar válvulas faltantes.
- Alarma por alta presión.
- Alarma por muy alta presión que enclave VC-3 o detenga motor.

Generales:

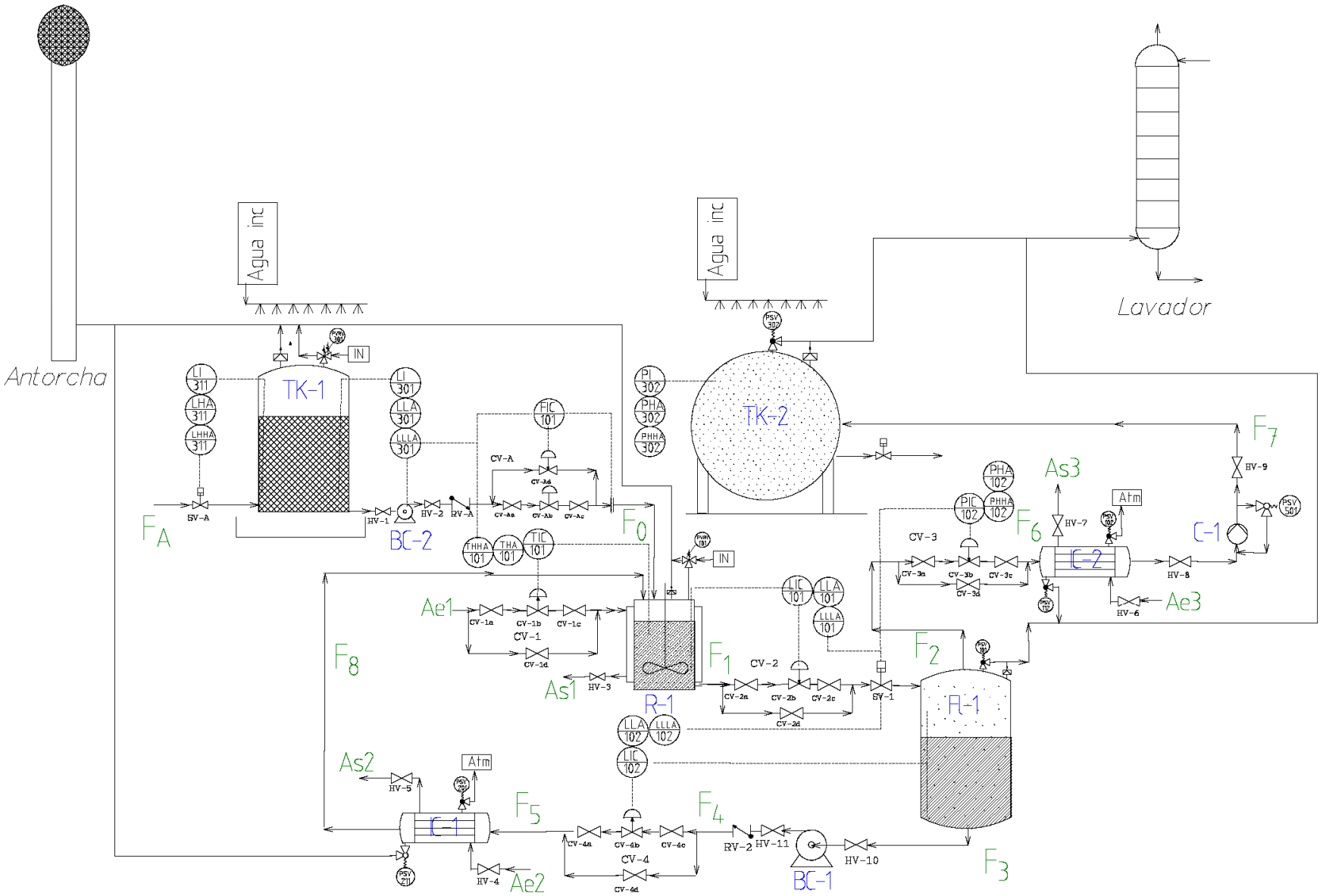
- Incorporar instrumentos faltantes como manómetros, termómetros, etc).
- Incorporar antorchas y sus líneas.
- Incorporar scrubber y sus líneas.
- Formalizar procedimiento operativos y de mantenimiento.
- En los derrames líquidos comprobar estado de agregación ante posibilidad de flasheo

Válvulas automáticas y sus posiciones de fallo:

- Cv-A: FC
- Cv-1: FO
- Cv-2: FC
- Cv-3: FO
- Cv-4: FC

Venteos:

- El TK-1, el reactor y tubos del intercambiador IC-1 a antorcha.
- El TK-2, el flash y tubos del IC-2 al lavador.
- Las corazas de los IC-1 e IC-2 a atmósfera.


Antorcha
Agua inc
Agua inc
Lavador
TK-1
TK-2
R-1
FI-1
BC-2
BC-1
C-1
C-2
IN
FA
F0
F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8
As1
As2
As3
Ae1
Ae2
Ae3
Atm
LI 311
LHA 311
LHHA 311
LI 301
LLA 301
LLLA 301
FIC 101
PI 302
PHA 302
PHHA 302
PHA 102
PIC 102
PHHA 102
THHA 101
THA 101
TIC 101
LIC 101
LLA 101
LLLA 101
LLA 102
LLLA 102
LIC 102
SV-A
HV-1
HV-2
RV-A
CV-A
CV-Aa
CV-Ab
CV-Ac
CV-Ad
CV-1
CV-1a
CV-1b
CV-1c
CV-1d
HV-3
CV-2
CV-2a
CV-2b
CV-2c
CV-2d
SV-1
CV-3
CV-3a
CV-3b
CV-3c
CV-3d
HV-7
HV-8
HV-9
HV-6
CV-4
CV-4a
CV-4b
CV-4c
CV-4d
HV-5
HV-4
RV-2
HV-11
HV-10
PSV 101
PSV 102
PSV 201
PSV 211
PSV 302
PSV 501

A continuación se detalla la matriz de riesgo utilizada y la definición de sus parámetros:

Categoría de Riesgo	Descripción
Aceptable (A)	El riesgo es considerado tolerable. No hay necesidad de medidas adicionales.
Aceptable con control (C)	El riesgo es considerado tolerable si se mantienen los controles actuales. Controles adicionales deben ser evaluados e implementados realizando un análisis para evaluar las alternativas disponibles, de forma de obtener una reducción adicional de los riesgos siguiendo el concepto “ALARP”.
No deseable (N)	Colocación de medidas de control del riesgo dentro de un período de tiempo especificado.
Intolerable (I)	El riesgo es considerado no tolerable con los controles existentes. Métodos alternativos deben ser considerados para reducir la probabilidad de ocurrencia y, adicionalmente, las consecuencias.

Tabla 1: Descripción del riesgo

SEVERIDAD						CATEGORIAS DE FRECUENCIAS			
CATEGORÍAS DE SEVERIDAD		DESCRIPCIÓN/CARACTERÍSTICAS				1 Remota	2 Poco Probable	3 Probable	4 Frecuente
		Seguridad personal	Seguridad de Instalaciones	Medio Amb.	Imágen	No esperado ocurrer durante la vida útil del emprendimiento, a pesar de haber ocurrido en el mundo.	Posible de ocurrir hasta una vez durante la vida útil del emprendimiento.	Se espera que ocurra pocas veces durante la vida útil del emprendimiento.	Se espera que ocurra muchas veces durante la vida útil del emprendimiento.
1	Catastrófica	Provoca muerte o lesiones graves (incapacidades) en una o más personas intra o extra-muros.	Daños irreparables a equipamientos o instalaciones (reparación lenta o imposible) . Costos mayores a U$S 2MM	MAYOR	Impacto Nacional y/o Internacional	C	N	I	I
2	Crítica	Lesión con pérdida de días, o múltiples accidentados con lesión sin pérdida de días intra o extra muros	Daños severos a equipamientos o instalaciones. Daños ente U$S 500 M y U$S 2MM	MEDIO	Impacto Regional	A	C	N	I
3	Marginal	Lesiones sin pérdida de dias intra o extra muros	Daños leves a los equipamientos o instalaciones. Pequeño Porte (hasta 500 mil dólares)	MENOR.	Impacto Local	A	C	C	N
4	Despreciable	Sin lesiones o máximo de primeros auxilios	Sin daños o daños insignificantes a equipamientos o instalaciones.	Sin daños o con daños mínimos al medio ambiente.	Sin impacto	A	A	A	C

Tabla 2: Matriz de riesgo

Frecuencia de fallos:

Eventos frecuentes (4)

- Errores humanos como apertura incorrecta de válvulas, encendido de bombas innecesarias, procedimientos inadecuados, falta de entrenamiento etc.

Eventos probables (3)

- Fallos en los sistemas de control.
- Roturas menores en líneas y equipos que comuniquen con el exterior (orificios pequeños o medianos).

Eventos poco frecuentes (2)

- Roturas mayores en líneas y equipos (orificios grandes).
- Fallos en los sistemas de seguridad como activación espuria de enclavamientos, apagado o encendido de bombas automáticas, válvulas de alivio, apertura errónea de discos de ruptura, etc.

Eventos remotos (1)

- Roturas catastrófica de líneas y equipos.
- Pérdida total de suministro eléctrico-

Severidad:

- Los costos aproximados de los equipos y el tiempo de reposición de los mismos se encuentran en la descripción de cada uno de ellos.
- Considerar en 50.000 U$S por día la pérdida diaria por falla en la producción.
- Ante daños parciales la severidad aumenta en una unidad (menores costos de reparación y producción).

Equipo	Pérdia por rotura	Días de reposición	Pérdida de producción	Total	Severidad
TK-1	100000	15	750000	8.500E+05	2
TK-2	300000	40	2000000	2.300E+06	1
R-1	60000	10	500000	5.600E+05	2
IC-1	100000	10	500000	6.000E+05	2
IC-2	50000	5	250000	3.000E+05	3
Fl-1	50000	10	500000	5.500E+05	2
BC-1	8000	1	50000	5.800E+04	3
BC-2	8000	1	50000	5.800E+04	3
C-1	20000	5	250000	2.700E+05	3