

6.1 Introducción

Como se mencionara en el Capítulo 3 de Selección de Tecnología, el proceso adoptado para este proyecto en una mezcla del proceso continuo patentado en España y algunas modificaciones introducidas como consecuencia de los trabajos realizados en una planta piloto en la empresa Transclor S.A.

El proceso de fabricación de Ácido Tricloroisocianúrico (TCCA) consta de varias etapas a las cuales denominamos “AREAS” a fin de facilitar la comprensión del mismo y el acceso a la información. Se tomo como base de proyecto iniciar el proceso contando con el Ácido Isocianúrico como materia prima, ya que la fabricación de este implicaría un tamaño de planta muy superior con una gran inversión inicial que no se justifica versus los costos de importación disponibilidad en el mercado de esta materia prima.

El presente proyecto tiene como finalidad la producción de un producto químico cuyo proceso de producción involucra una alta corrosividad sobre los equipos y materiales constructivos: por ello, se contemplan materiales y estructuras resistentes a los efectos corrosivos del medio. Además, todo el equipamiento empleado esta diseñado a tal fin, empleando materiales tales como CPVC, titanio y tantalio en las partes húmedas específicas del proceso.

AREA 100

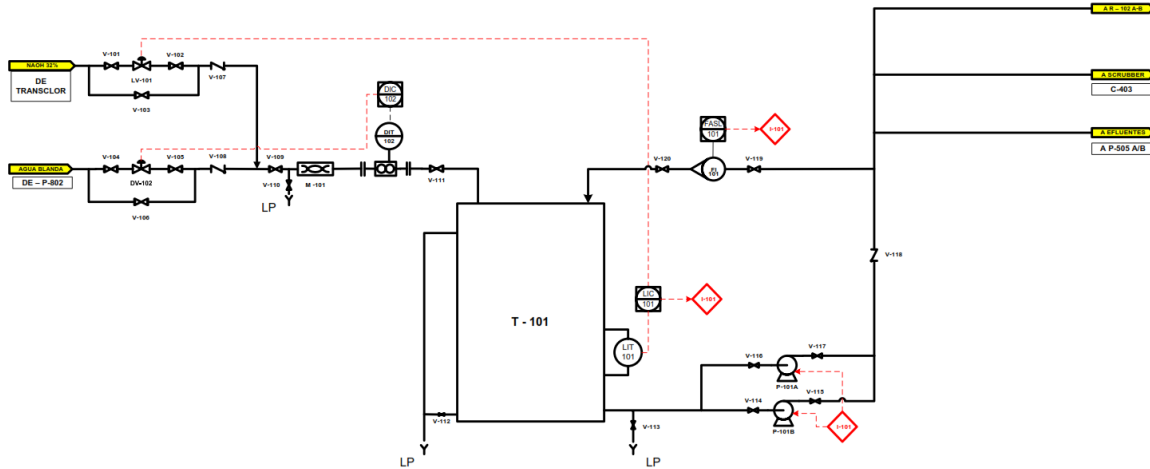
El proceso comienza con la dilución en línea de la soda cáustica al 50% proveniente de Transclor. Este proceso de dilución es controlado por un medidor de densidad continuo en línea **DI-102** que regula la cantidad de agua que se adiciona a la mezcla para formar una solución de soda cáustica con una concentración del 11% m/m.

Esta dilución se almacena en un tanque pulmón (**T-101**) desde donde es bombeada por la bomba **P-101 A** o **P-101 B** hacia los reactores de formación del Isocianurato de Sodio **R-102 A** o **R-102 B**.

Este tanque pulmón **T-101** posee un control de nivel automatizado. Este lazo de control actúa sobre la válvula de control **LV-101** que modula el caudal de soda cáustica que se mezcla con agua blanda en el mezclador estático **M-101** y finalmente alimenta dicho tanque.

Las bombas **P-101 A** o **P-101 B** abastecen de dilución de soda cáustica a tres servicios principales:

- Los dos reactores de formación de Isocianurato de Sodio **R-102 A y B**
- El Scrubber **C-403** de la torre de absorción de cloro **R-402**
- La planta de tratamiento de efluentes líquidos (**P-505 A o P-505 B**)



Siguiendo en el **Área 100**, tenemos dos reactores de acero inoxidable 316L **R-102 A y R-102 B** que se emplean en forma alternada y por Batch para llevar a cabo la reacción entre la dilución soda caustica y el ácido Isocianúrico. Este último se usa en forma de sólido granulado. Ambos reactores están equipados con sendos agitadores mecánicos y una chaqueta para circulación de agua caliente. El uso de agua caliente es para aumentar la temperatura de reacción, ya que, a pesar de ser una reacción exotérmica, se necesita una temperatura de 45°C para activar la reacción entre ambos reactivos. Una vez iniciada la reacción, el agua de calentamiento solo se suministra para mantener la temperatura y hacer que la reacción se lleve a cabo completamente en el menor tiempo posible. Se estima que el tiempo de reacción de formación del isocianurato de sodio en los reactores R-102 A y B será de 40 – 45 min (ver más abajo). Si bien la reacción es rápida, no es instantánea y se debe controlar la temperatura del reactor en 45°C por dos motivos:

- 1- Evitar que una temperatura mayor de 55°C descomponga el isocianurato formado.
- 2- Completar la reacción en el menor tiempo posible.

CÁLCULO DEL TIEMPO DE REACCIÓN DE FORMACIÓN DEL NaIC			
Magnitud	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del Reactor	V_r	l	18000
Masa de AIC por batch	M_{AIC}	kg	2211.15
Mr del AIC	Mr_{AIC}	kg/kmol	195.02
Masa de AIC por batch	M_{AIC}	kmol	11.34
Concentración Inicial de AIC	C_0	Molar	0.630
Constante de la ecuación de 1° orden	k	min-1	0.16
Concentración final AIC	C_t	Molar	0.001
Tiempo de reacción	t	min	40.28

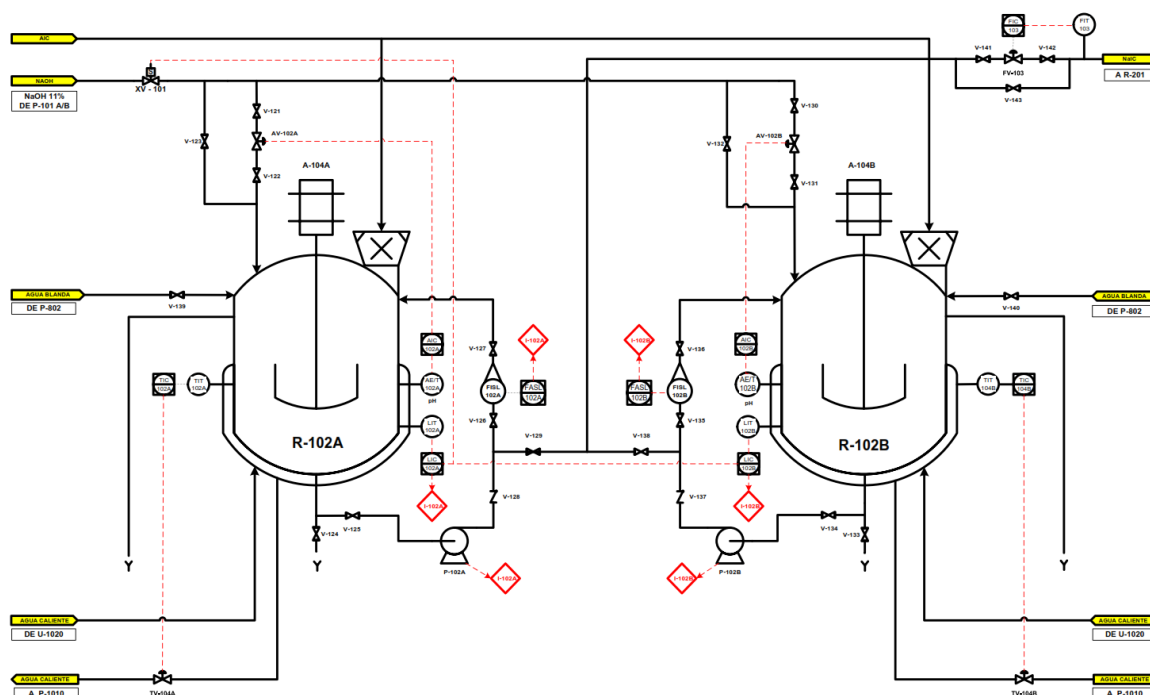
$$\ln \frac{C_t}{C_0} = -k \cdot t$$

$$t = \ln \frac{C_t}{C_0} / (-k)$$

El Ácido Isocianúrico se emplea en bolsones tipo BIG BAGS de 1000 kg y se dosifica en el reactor por medio de un polipasto eléctrico de 3000 kg de capacidad **Q-102 A** y **Q-102 B** con movimiento ascendente y descendente y desplazamiento lateral.

Un agitador mecánico de paletas **A-104 A** o **A-104 B** mantiene la mezcla en constante agitación para favorecer la disolución del sólido y un controlador de pH **AE-102 A** o **AE-102 B** controla la alcalinidad de la preparación.

Una vez que la totalidad del sólido reaccionó con la solución de soda cáustica y el pH de la solución es alcalino (pH entre 9,5 y 10,5), se alimenta el reactor de formación de TCCA **R-201** con caudal controlado mediante el lazo de control **FIC-103** para mantener así bajo control la reacción de cloración que ocurre en el **Área 200**.



AREA 200

En esta área se produce el TCCA en dos reactores de tanque agitado con refrigeración (**R-201** y **R-202**). Estos dos reactores trabajan en serie recibiendo, el primero de ellos, la solución de isocianurato de sodio preparada en el **Área 100**. La alimentación del isocianurato de sodio al reactor de cloración se realiza desde la parte inferior para maximizar la reacción de cloración y minimizar así el rebalse de reactivo sin clorar al segundo reactor. Se inyecta cloro gas por burbujeo desde el fondo de este y este reacciona con el isocianurato de sodio y forma el Ácido Tricloroisocianúrico. Este primer reactor se emplea como reactor de primer paso; es decir, que la reacción de formación del TCCA no es completa. Esto se realiza así, para evitar un aumento excesivo de la temperatura que formaría compuestos indeseados como cloruro de sodio o cloratos.

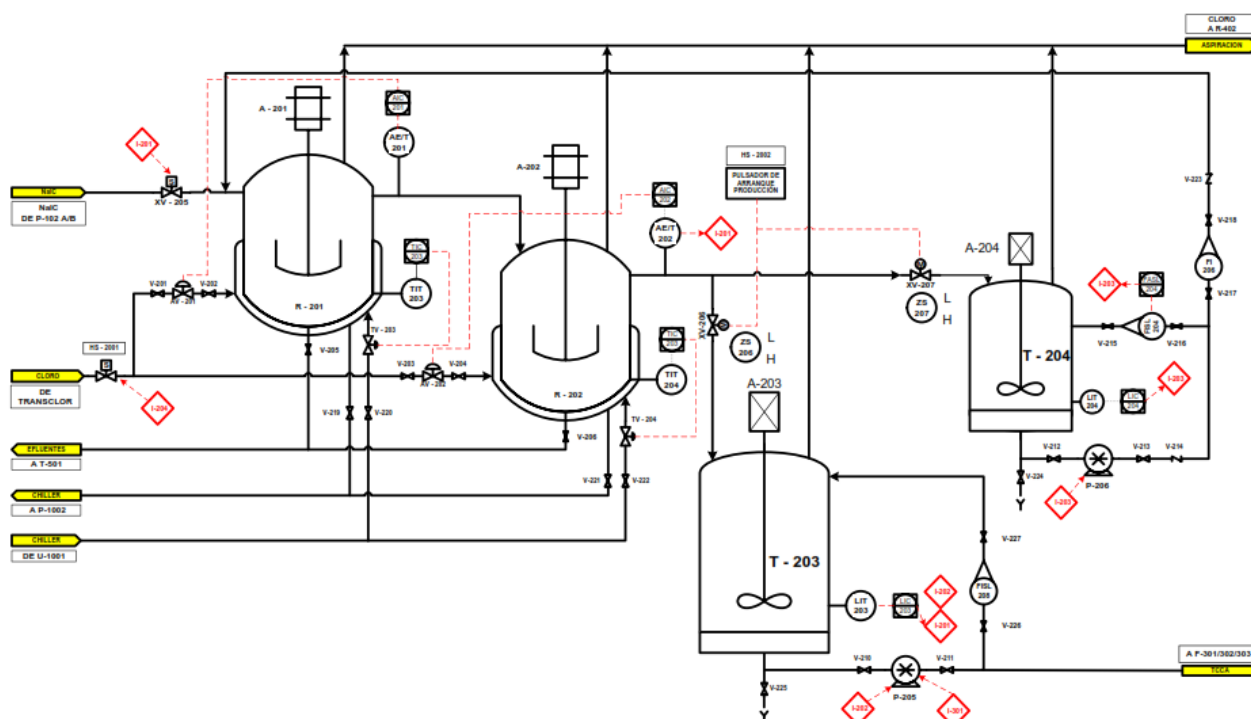
El reactor **R-201** rebalsa por desborde hacia el segundo reactor de la serie **R-202**. En este reactor se produce la cloración final del producto hasta lograr un pH de entre 3,5 y 4,0 en la solución. El cloro es inyectado al reactor de la misma forma que en el reactor **R-201** (por burbujeo desde la parte inferior del equipo). Aquí se finaliza el proceso de formación del TCCA con la cloración final de la solución.

La adición de cloro a los reactores se controla mediante dos lazos de control de pH: **AIC-201** para el reactor **R-201** y **AIC-202** para el reactor **R-202**.

La reacción de cloración debe llevarse a cabo a una temperatura no mayor de 15°C, por ello ambos reactores son encamisados y por la camisa circula agua helada (a 6 – 8°C) generada por un chiller (**U-1010**). El control de la temperatura de ambos reactores es continuo y automatizado mediante los lazos de control de temperatura **TIC-203** y **TIC-204**.

El producto final de salida del **R-202** se almacena en el tanque pulmón de bombeo **T-203** que posee un agitador mecánico **A-203** que mantiene en suspensión los cristales de TCCA formados en la etapa de cloración. Desde este tanque se bombea la suspensión de los cristales de TCCA hacia el **Área 300** de filtrado y secado.

En esta **Área 200** de producción del TCCA existe un tanque auxiliar **T-204** cuya finalidad es la de recibir el producto fuera de especificación de salida del **R-202** y recircularlo a la entrada del reactor **R-201**. Este tanque permite estabilizar el proceso de cloración para, una vez estabilizado y con el producto en especificación, enviar el producto de salida del **R-202** hacia el tanque **T-203**. Este tanque se emplea solamente en los estadios de ARRANQUE de LA PLANTA, ya que en operación normal y estable, este sistema queda fuera de servicio.

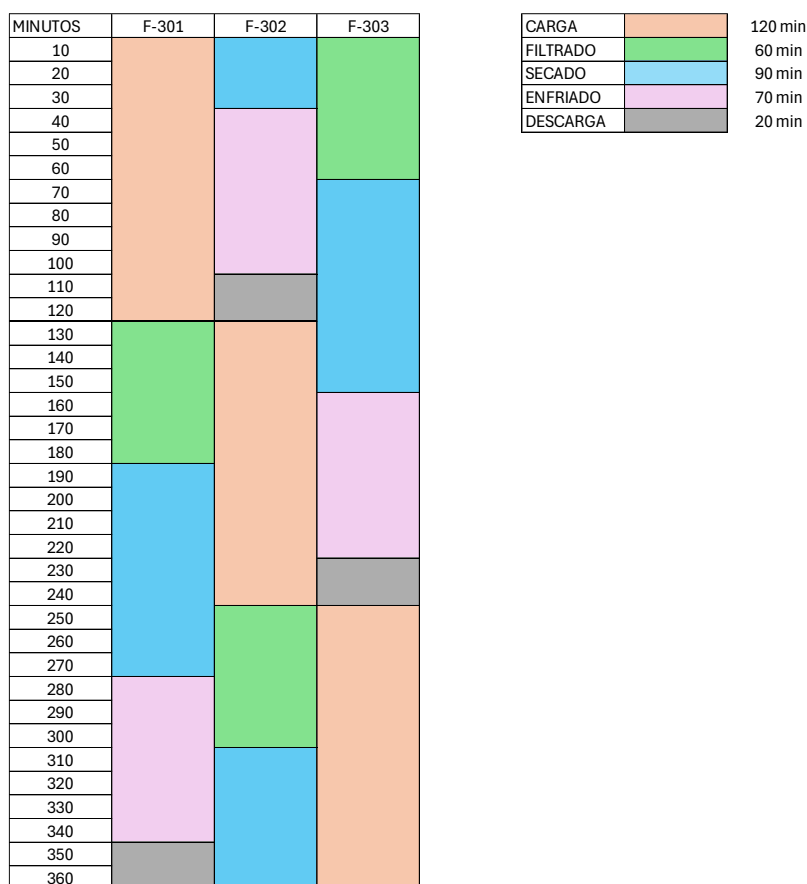


AREA 300

Los cristales de TCCA en suspensión producidos en el **Área 200**, se bombean con la bomba **P-205** a uno de tres filtros secadores tipo GEDU. Estos equipos trabajan en Batch y en paralelo. Reciben la suspensión de cristales de TCCA, y mediante las maniobras automatizadas de válvulas ON/OFF, proceden al filtrado primero y al secado de los cristales posteriormente.

Los filtros secadores son semiautomatizados, es decir, tienen operaciones automáticas y operaciones que efectúa manualmente el operador. El proceso de separación y acondicionamiento de los cristales de TCCA consta de 5 etapas que se llevan a cabo en los filtros secadores GEDU. Estas etapas y sus tiempos correspondientes son las siguientes:

1. Carga del equipo con la suspensión de los cristales de TCCA. (Automático)
2. Filtrado de los cristales (Manual)
3. Secado de los cristales (Manual)
4. Enfriamiento de los cristales (Automático)
5. Descarga de los cristales secos (Manual)



La modalidad de operación de los filtros secadores es la siguiente:

FILTRO 1: OPERACIÓN

FILTRO 2: CARGANDO

FILTRO 3: DESCARGANDO

Estas etapas descriptas más arriba se llevan a cabo indistintamente del TAG del filtro en la modalidad de “carrusel” o “tio vivo”, asegurando así que siempre hay un solo equipo descargando los cristales secos.

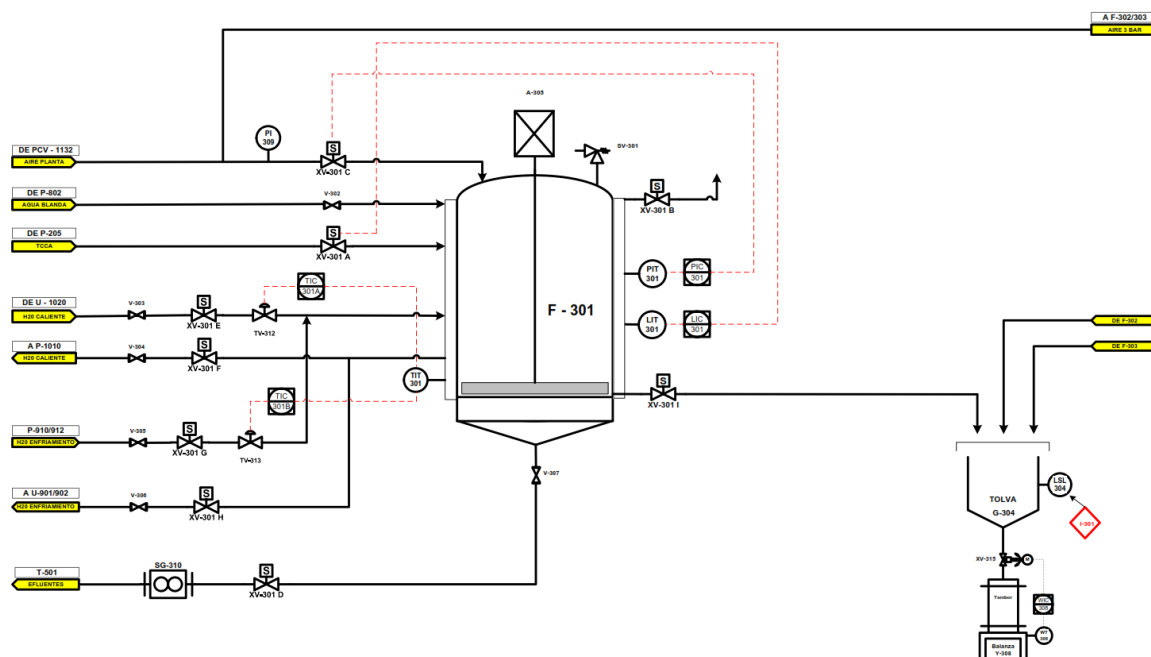
Estos cristales secos son enviados hacia la tolva de carga de cuñetes **G-304** empujados por las paletas del agitador del equipo secador y caen por medio de un canal abierto por gravedad dentro de la tolva.

Los cristales secos se almacenan en la tolva de carga **G-304**. El fondo de la tolva es cónico para favorecer el deslizamiento de los cristales hacia la salida del recipiente. Dicha salida tiene una válvula rotativa (**XV-315**) bridada que deja dispensar de manera controlada el producto final ya terminado hacia los recipientes de empaque. Estos recipientes son cuñetes plásticos de una capacidad máxima de carga de 50 kg.

La tolva **G-304** tiene un Switch de Alto nivel (**LSH-304**) que se acciona si el nivel de cristales de TCCA dentro de la tolva alcanza el nivel de dicho switch. Cuando este switch se acciona, se activa el enclavamiento **I-202** que detiene la marcha de la bomba **P-206**.

La carga de los cuñetes es una operación semiautomatizada, donde el operador coloca el cuñete sobre el plato de la balanza de carga **Y-308** y acciona el lazo de control **WIC-308** de carga de producto terminado. Cuando el cuñete alcanza el peso seteado en el lazo de control, la válvula rotativa **XV-315** cierra y el cuñete lleno es retirado por el operador utilizando un montacargas. Se coloca un nuevo cuñete vacío sobre el plato de la balanza y se repite el procedimiento descrito.

Los cuñetes llenos son estibados en el depósito de producto terminada a la espera de ser despachados.



AREA 400

Todo el cloro gaseoso proveniente de los reactores y tanques del **Área 200** y todo el aire clorado que proviene del **Área 500** de tratamiento de efluentes líquidos no puede ser venteado libremente a la atmosfera ya que es un gas nocivo, toxico y contaminante. Estos gases son los efluentes gaseosos del proceso de fabricación de TCCA y son tratados en esta **Área 400** de producción de hipoclorito de sodio.

Los efluentes gaseosos contienen principalmente un 25% v/v de cloro y un 75% v/v de aire. Esta mezcla gaseosa ingresa a una torre de absorción (**R-402**) donde el gas cloro reacciona químicamente con soda cáustica para formar el hipoclorito de sodio según la siguiente reacción:



Este “subproducto” del proceso principal también se comercializa, generando ingresos extra a la empresa. Esta reacción es altamente exotérmica (libera grandes cantidades de calor) y por lo tanto el hipoclorito de sodio debe enfriarse adecuadamente para evitar que la temperatura se eleve por arriba de valores aceptables para una calidad adecuada del producto.

La unidad de hipoclorito opera en régimen continuo y automático y consta de un Reactor de Hipoclorito **R-402** (columna empacada) en el cual se absorbe el cloro gas en contracorriente con una corriente líquida compuesta por soda

cáustica e hipoclorito de sodio. El reactor **R-402** está construido en Titanio Gr 2 que es el material más resistente a las soluciones de hipoclorito de sodio y al cloro gas húmedo. El empaque ó relleno de la columna (PVDF) tiene por objetivo poner en íntimo contacto a la solución de hipoclorito de sodio y soda cáustica que descende por la columna con la corriente de cloro gaseoso que asciende por la misma. El empaque está soportado por un plato construido en Titanio Gr 2.

La presión del colector general de cloro gas aguas arriba al reactor **R-402** es controlada automáticamente por medio del lazo de control de presión **PIC-410**, el cual opera sobre la velocidad de giro del ventilador **K-406**.

La corriente gaseosa de cloro, que es alimentada al reactor a través de un distribuidor interno instalado en la sección lateral inferior del reactor, asciende a través del empaque y reacciona con la soda cáustica que fluye en contracorriente. De este modo, la corriente de hipoclorito de sodio generado en el reactor **R-402** fluye por gravedad hacia el Tanque Buffer **T-404**, a través de una cañería de 8". Una fracción de ese hipoclorito de sodio es derivada al mismo tanque, pero a través de sensor de ORP (potencial de oxido-reducción o redox lazo de control **AIC-411**) el cual da una indicación del "exceso" de soda cáustica existente en el hipoclorito producido.

El hipoclorito de sodio descargado en el tanque de recepción **T-404** es tomado por la Bomba de Hipoclorito **P-408 A** o **P-408 B** y bombeado a través del Enfriador de Hipoclorito **E-407** cuya finalidad es remover el calor liberado por la reacción a los efectos de mantener una temperatura adecuada del hipoclorito producido.

La mayor parte del hipoclorito enfriado (aproximadamente entre el 90% y el 95%) que sale del intercambiador es recirculado al reactor ingresando a través de un distribuidor instalado en la sección lateral superior con la finalidad de ayudar a la disipación del calor generada por la reacción dentro del reactor **R-402**, en tanto que el resto de la corriente de hipoclorito (que representa la producción de hipoclorito) es evacuada automáticamente del sistema por el lazo de control **LIC-404** y enviada a los tanques de almacenaje de hipoclorito de sodio **T-601** o **T-602**. El lazo de control **LIC-404** mantiene controlado el nivel del tanque **T-404**.

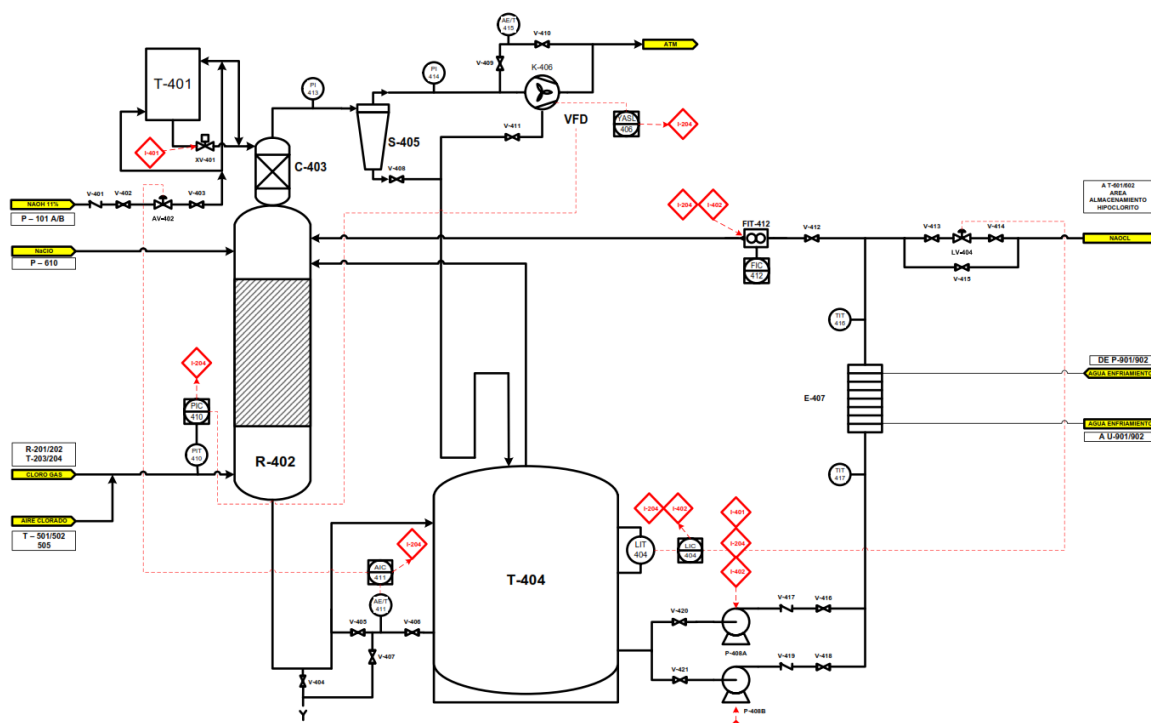
Los gases efluentes (compuestos principalmente por aire y otros gases inertes) que abandonan el reactor **R-402**, ingresan directamente a la Columna Lavadora de gases (o scrubber) **C-403** por la parte inferior del mismo. La finalidad de esta columna lavadora de gases es "neutralizar" con soda cáustica cualquier residual de cloro gas que aún puede permanecer en la corriente de gases efluentes que sale del reactor principal. Básicamente el scrubber **C-403** es una columna empacada donde los gases residuales son puestos en contacto, en

contracorriente, con la soda cáustica diluida “fresca” que ingresa por la parte superior del scrubber alimentado continuamente desde las bombas **P-101 A** o **P-101 B**. La soda cáustica diluida que abandona el scrubber por su parte inferior se mezcla con el hipoclorito recirculado en la parte superior del reactor principal, en tanto que los gases residuales “lavados” son succionados por el Ventilador de Aire Efluente **K-406** cuya finalidad es mantener todo el sistema de absorción de cloro bajo una leve presión negativa (depresión) respecto de la presión atmosférica, de esta manera se asegura que si hubiera una potencial pérdida en el sistema, el aire atmosférico ingresaría al sistema y no a la inversa. El Separador **S-405** tiene por finalidad remover, por efecto ciclónico, gotas que pudieran escapar del scrubber.

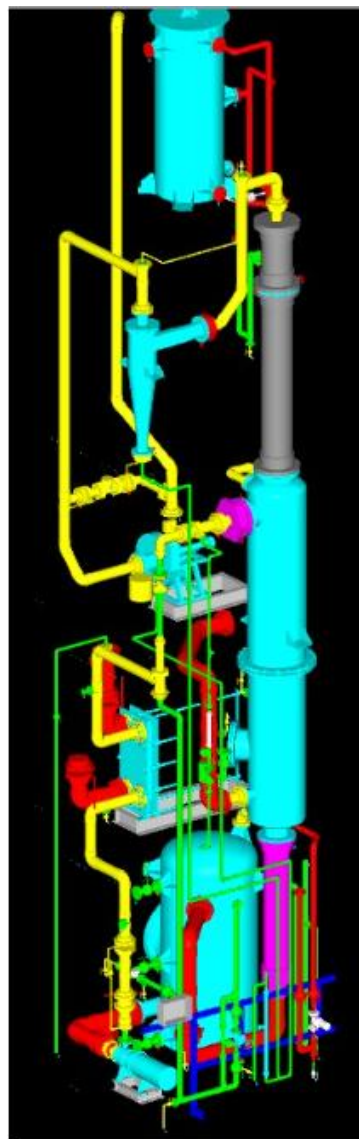
La cantidad de soda alimentada dependerá de la demanda del proceso de absorción de cloro y es controlada por el lazo de control **AIC-411**, el cual controla y mantiene siempre el “exceso” de soda cáustica requerido para mantener la estabilidad del hipoclorito producido. Un sensor de ORP mide continuamente el potencial redox del hipoclorito producido y actúa sobre la válvula de control **AV-402**.

El Tanque Elevado de Soda Diluida **T-401** se mantiene siempre lleno de líquido (volumen útil de aproximadamente 600 litros). El tanque elevado **T-401** es alimentado desde las bombas **P-101 A** o **P-101 B** y actúa como reserva de seguridad de soda cáustica diluida. En caso de detención de las bombas **P-408 A** o **P-408 B**, la válvula **XV-401** se abre y el tanque elevado descarga la soda diluida hacia el scrubber **C-403**, absorbiendo el residual de cloro gas que pueda permanecer en las cañerías y equipos.

Ventilador de Aire Efluente **K-406** es un ventilador de tipo centrífugo, con eje horizontal y construido en PRFV. Consiste en una turbina con álabes que gira en el interior de un cuerpo difusor fijo, creando una depresión en el centro de la turbina que obliga al fluido a desplazarse desde la aspiración central a la impulsión atravesando los canales de la turbina dentro de la cual adquiere la energía necesaria.



Para mayor entendimiento de esta área del proceso se muestra a continuación una maqueta de la planta de producción de hipoclorito de sodio.



AREA 500

Todos los efluentes líquidos de planta se colectan en el tanque **T-501**. A este tanque llegan los efluentes de las columnas de Carbón Activado **C-506** y **C-507** y las aguas de lavado de los reactores **R-201** y **R-202** y las “aguas madre” de los filtros secadores **F-301**, **F-302** y **F-303**.

La planta de tratamiento de efluentes líquidos trabaja en forma continua y se opera de la siguiente manera:

El contenido del tanque **T-501** se acidifica con Ácido Clorhídrico al 32% a un pH de entre 1,5 y 1,8 para insolubilizar el cloro gas disuelto y a su vez

descomponer los compuestos indeseados (tales como los cloratos) que dan como producto gas cloro. El tanque tiene una recirculación controlada y un medidor en línea de pH, que mediante el lazo de control **AIC-501**, mantiene el valor de pH dentro de especificación.

Además de la adición de Ácido Clorhídrico, se inyecta en el fondo del tanque una corriente de aire comprimido de baja presión para burbujear en el líquido y de esta manera arrastrar el gas cloro disuelto de la fase líquida. El caudal de aire se regula mediante un rotámetro **FI-501** a un valor de 100 m³/h y junto con los gases desprendidos en los tanques **T-502** y **T-505**, se envían a la columna de absorción de cloro **R-402** para fabricar hipoclorito de sodio.

En caso de un elevado nivel de efluentes en el tanque **T-501**, se activa el enclavamiento **I-202** y se saca de servicio la bomba **P-205**

Una vez que el pH del efluente se encuentra por debajo de “2”, se abre automáticamente la válvula ON/OFF **XV-510** y el efluente pasa al tanque **T-502**. En este tanque se insolubilizan los cristales de TCCA que pudieran haber estado solubles durante el proceso de fabricación gracias al bajo pH y se mantienen en suspensión gracias al agitador mecánico **A-503**.

Desde el **T-502** se bombea con las bombas neumáticas **P-502 A** y **P-502 B** la suspensión ácida hacia los dos filtros prensa **F-504 A** y **F-504 B**. El sólido se envía a los filtros secadores **F-301**, **F-302** y **F-303** y el filtrado se colecta en el tanque **R-505**. En este punto el tanque **R-505** contiene el efluente ácido, con bajo contenido de cloro libre (< 100 ppm) y con vestigios de TCCA solubilizado.

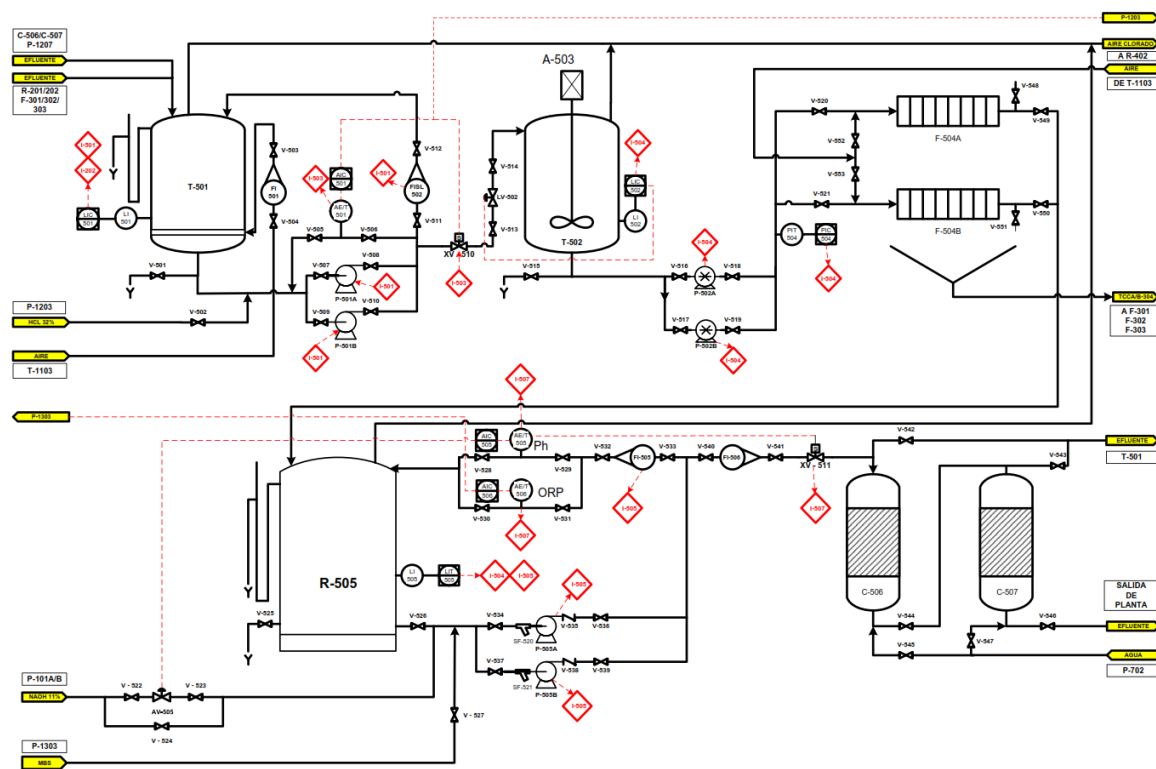
El objetivo de este tanque reactor **R-505** es acondicionar el efluente para su última etapa de tratamiento antes de ser dispuesto fuera de la planta. Las bombas **P-505 A** o **P-505 B** recirculan el contenido del tanque y en la succión de estas se adicionan solución de soda caústica al 11 % m/m para llevar el pH a un valor de entre 7 y 9 y solución de metabisulfito de sodio para eliminar los restos de cloro libre disuelto en el líquido. Ambos químicos se agregan en la succión de las bombas para que el impulsor de estas sirva de agitador y homogeneizador de las sustancias.

El agregado de metabisulfito de sodio es controlado por el lazo de control **AIC-506** que mide el potencial de oxidación-reducción (ORP) que es una medida indirecta del valor de cloro libre presente.

El agregado de soda cáustica es controlado por el lazo de control **AIC-505** que mide el valor de pH del líquido recirculado en el tanque **R-505**.

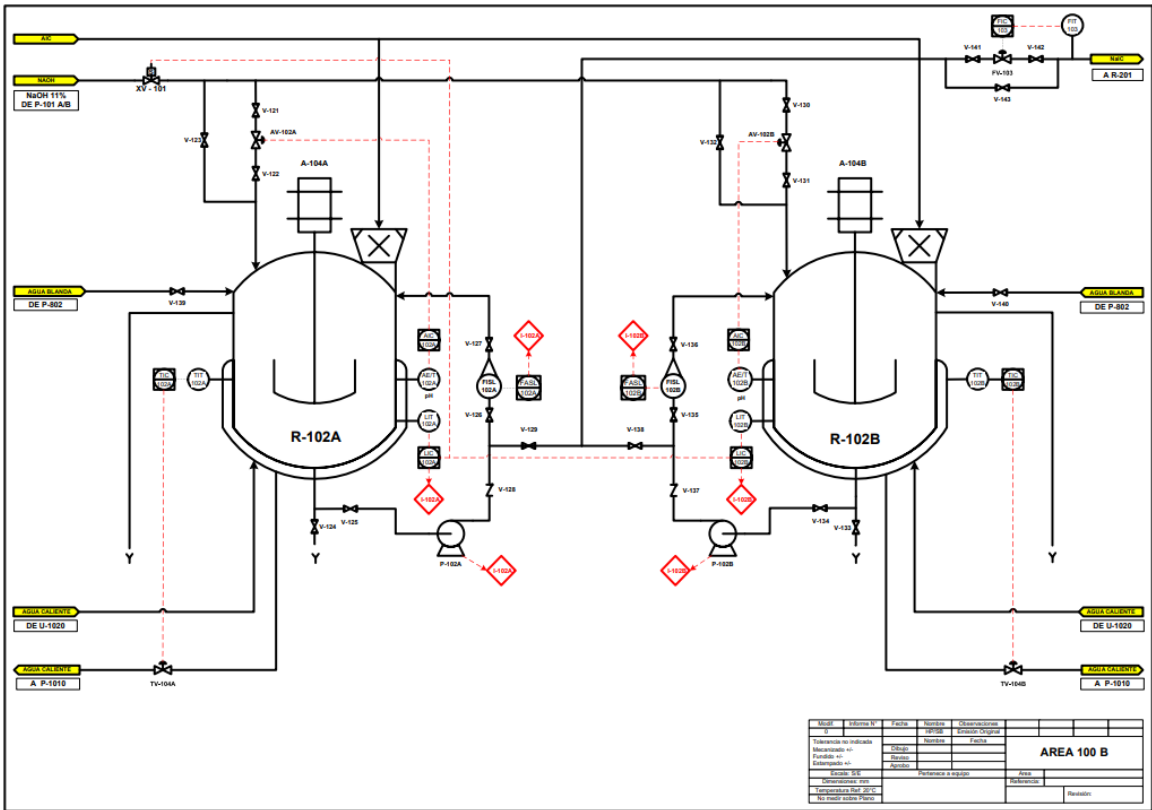
Cuando la calidad del efluente está dentro de lo especificado, se habilita automáticamente la apertura de la válvula ON/OFF **XV-511** y el efluente alimenta las dos columnas de carbón activado **C-506** y **C-507** que trabajan en serie. Estas columnas cumplen la función de retener por adsorción en los poros del carbón todo vestigio de materia orgánica (incluido el TCCA, Acido Isocianúrico, etc) que pudiera haber pasado a través de las etapas del tratamiento de efluentes.

La salida de las columnas de adsorción se envía directamente al vuelco de la red del Parque Industrial.

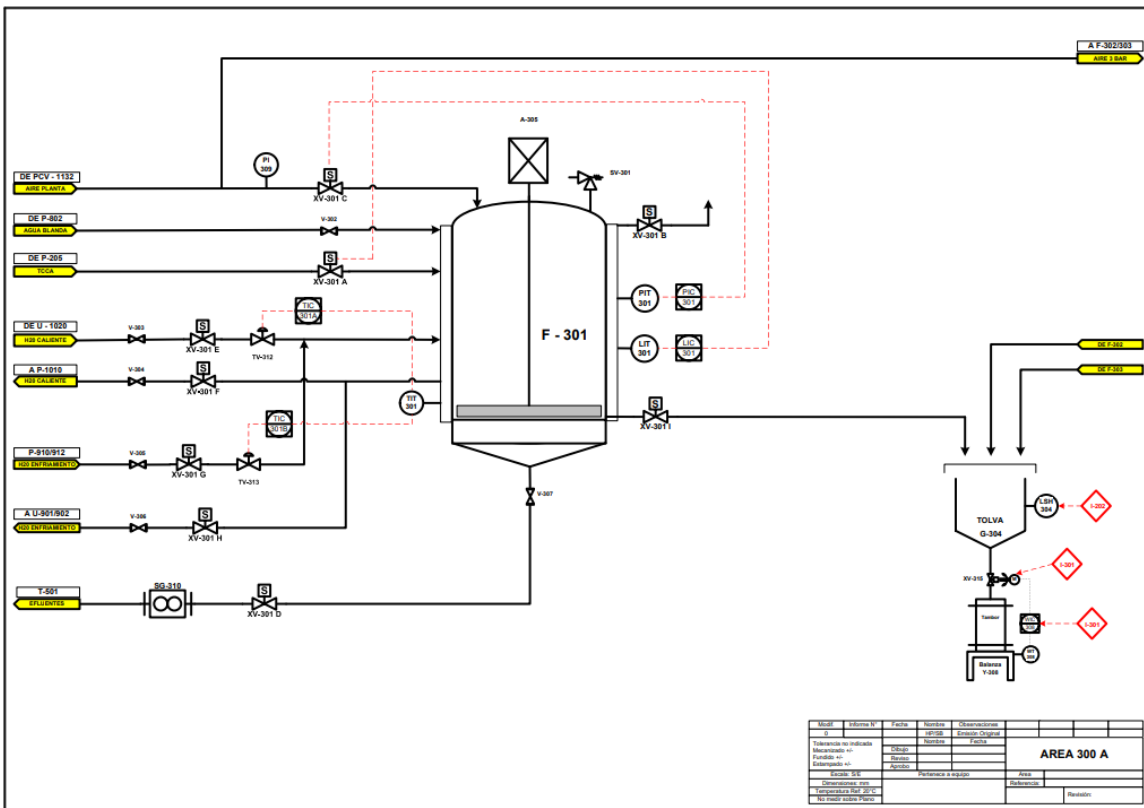
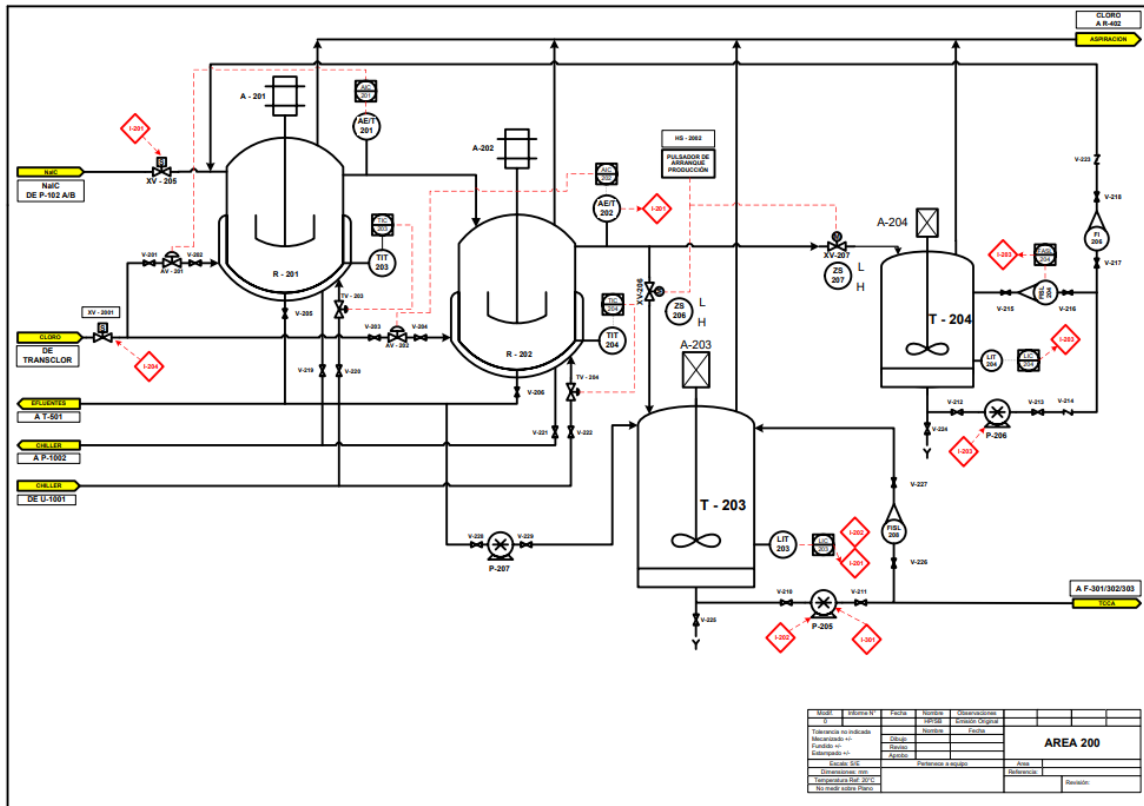


El resto de las Áreas de la Planta (**Áreas 700, 800, 900, 1000, 1100 y 1200**) son las Áreas destinadas a los servicios auxiliares, tales como Agua de Pozo, Agua Blanda, Agua de Enfriamiento, Agua Helada, Agua Caliente, Aire Comprimido y la zona de Preparación de metabisulfito de sodio y almacenamiento de HCl y absorción de vapores ácidos.

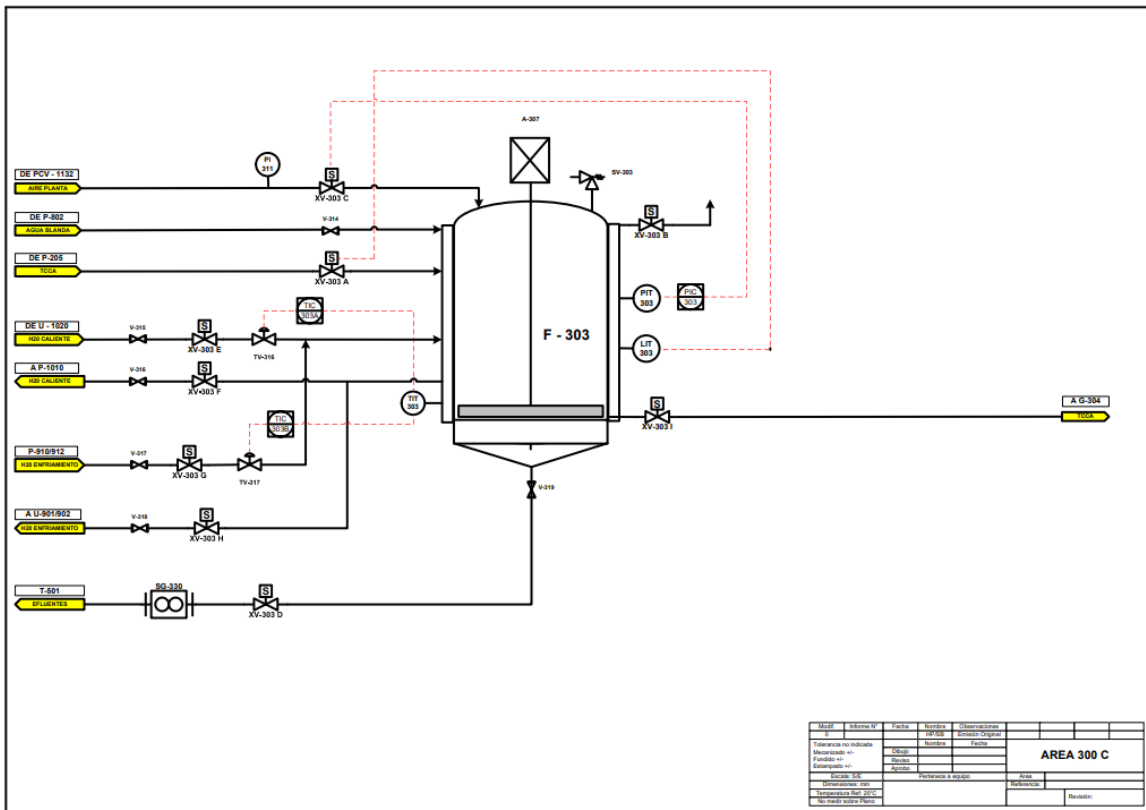
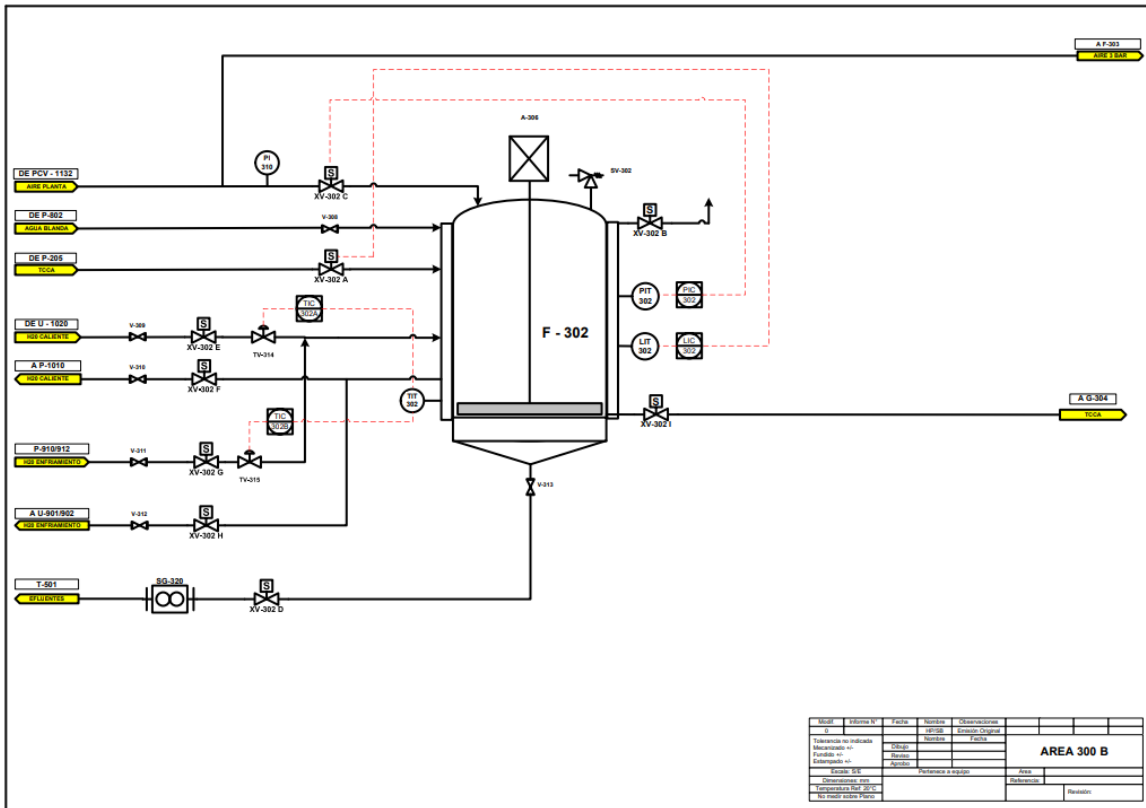
ANEXOS



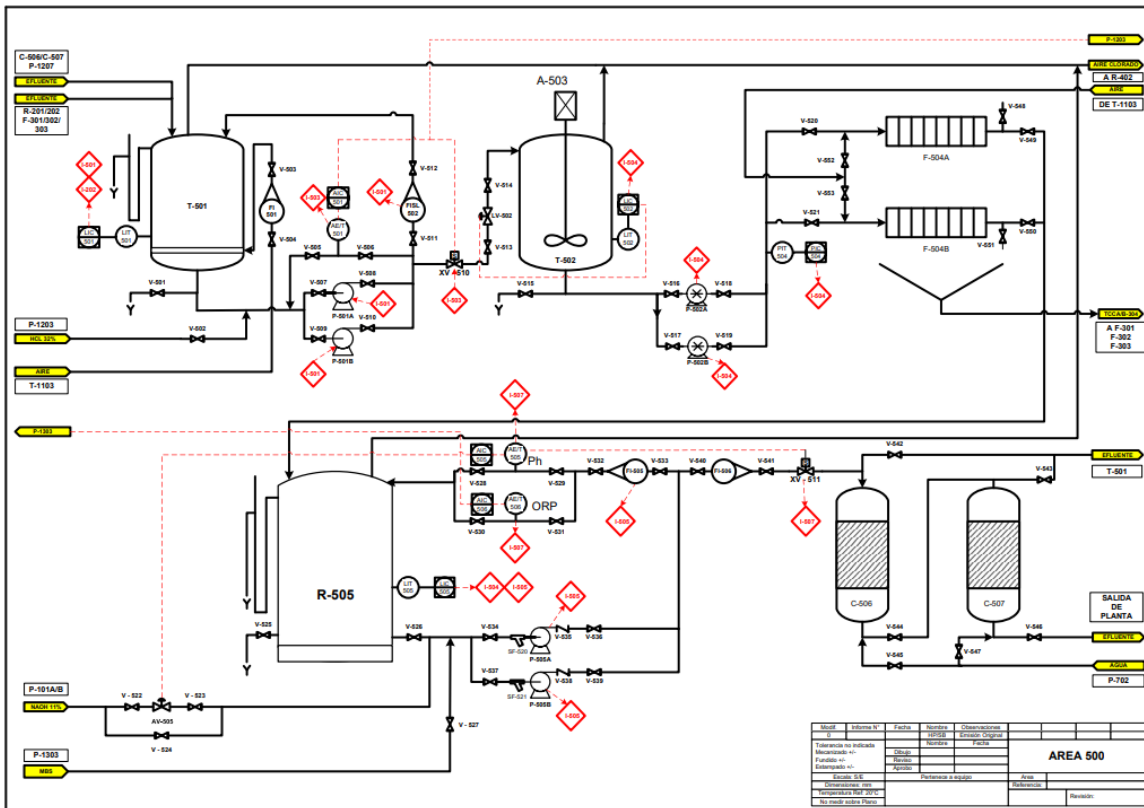
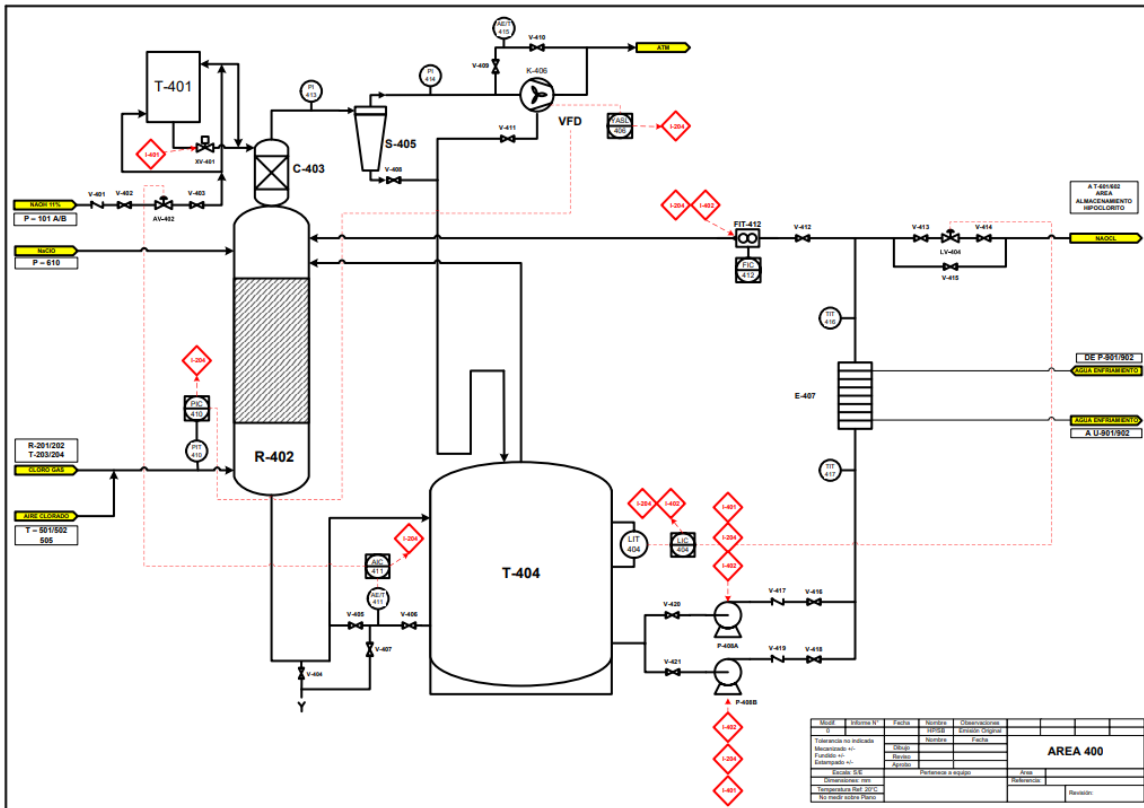
Descripción del Proceso



Descripción del Proceso



Descripción del Proceso



Descripción del Proceso

