

ESTUDIO DINÁMICO DE ANTORCHAS EN CONTINGENCIA MÚLTIPLE

Alejandra A. García, Inelectra Argentina, alejandra.garcia@inelectra.com

Tomás Müller-Karger, Inelectra Argentina, tomas.muller-karger@inelectra.com

SINOPSIS

En el marco de la Ingeniería Básica Extendida (FEL-3), de un proyecto de gran magnitud referente a la implantación de nuevas plantas como el que se contempló para un complejo del parque de refinación argentino, fue necesario realizar un estudio de verificación de la capacidad del Sistema de Alivio.

El proyecto realizado en la refinería consistió en la incorporación, a las unidades ya existentes en el complejo, de una unidad de hidrotratamiento de diesel, una unidad de hidrotratamiento de nafta catalítica, una unidad de aminas y una unidad de aguas agrias. Preveo, también, el revamp de la unidad catalítica existente.

Por tratarse de una ampliación dentro de un complejo existente, se consideró fundamental y determinante que el estudio de alivio fuera en **Estado Dinámico**. Dada la exactitud de cálculo que se tiene al realizar este tipo de estudio, se evita la sobre-estimación de los caudales de alivio permitiendo realizar la menor cantidad de modificaciones posibles en el sistema de alivio existente.

Las simulaciones en estado estacionario son consideradas conservadoras y pueden generar valores sobre-dimensionados; pudiendo incluso arrojar como resultado la necesidad de ampliación del sistema de alivio.

La metodología de análisis incluyó la verificación del diseño convencional y el estudio del comportamiento del sistema de antorchas en las condiciones actuales y en la situación futura, con las nuevas unidades instaladas.

INTRODUCCIÓN

La refinería en la cual se llevó a cabo el proyecto en cuestión cuenta actualmente con un sistema de alivio, compuesto por dos subsistemas (sub-sistema de alivio dulce y sub-sistema de alivio ácido).

La incorporación de nuevas unidades al complejo y las modificaciones realizadas en la unidad de FCC obligaron a estudiar el actual sistema de alivio y evaluar el comportamiento del mismo ante la situación futura para cada uno de los eventos de contingencia que pudiesen causar sobrepresión.

Las causas de sobrepresión analizadas se agruparon en dos tipos:

- Contingencias singulares (o simples): son las que involucran a un solo equipo y/o sistema. No serán contempladas en el presente desarrollo.
- Contingencias generales (o concurrentes): son las que involucran a varios equipos y/o sistemas provocando el alivio simultáneo. Estas últimas serán descriptas en el desarrollo.

Con el transcurso de los años, en el complejo en cuestión se incorporaron unidades (las cuales no fueron contempladas en el diseño original) lo que obligó a revisar no sólo la capacidad de diseño sino, también, la capacidad actual. Posteriormente, se estudió la carga de alivio futura.

La capacidad de alivio en cada caso se obtuvo mediante el empleo de **Simulaciones Dinámicas**; las cuales fueron realizadas para cada una de las contingencias concurrentes presentes en el proyecto: falla general de energía eléctrica, falla de agua de enfriamiento y fuego en cada unidad.

Para esta tarea se utilizó el software comercial **SuperChems** de la empresa **ioMosaic** (versión 5.98) que permite simular el alivio para contingencias múltiples teniendo en cuenta la isometría de la red de alivio y el dimensionamiento de cada una de las válvulas de alivio en sí; como así también, los perfiles de radiación y dispersión de contaminantes.

DESARROLLO

Metodología de Cálculo:

La primera fase del diseño/verificación consistió en identificar y analizar las situaciones de emergencia o escenarios de alivio concurrentes que pudiesen exponer peligrosamente por sobrepresión a los equipos y/o líneas. Esto se llevó a cabo a través de un análisis detallado de documentación, tal como PFDs, P&IDs, descripción de procesos, balances de masa y energía y otros diagramas.

Una vez concluida esta fase, se detectaron los siguientes escenarios de alivio concurrente:

- Falla general de energía eléctrica;
- Falla de agua de enfriamiento;
- Fuego en cada una de las unidades.

Se determinaron los caudales que se generarían en cada evento y la performance dinámica del sistema de alivio y venteo en cada escenario de contingencia múltiple. La simulación tuvo en cuenta la contrapresión generada por el alivio simultáneo de todas las unidades, a fin de verificar el comportamiento hidráulico de los sistemas.

La **Simulación Dinámica** permite tomar en cuenta el caudal más probable de alivio, en función de la contrapresión y de las condiciones del cabezal. El empleo de simulaciones en **Estado Dinámico** es fundamental en estos casos donde se estudian ampliaciones de sistemas existentes, a fin de evitar la sobre-estimación de los caudales por consideraciones en estado estacionario que podrían determinar, incluso, la necesidad de ampliación del sistema existente.

El análisis realizado permite establecer la capacidad máxima del sistema de alivio e identificar cuellos de botella que limiten la incorporación de nuevos contribuyentes a la red de alivios.

Otra consideración de la dinámica del sistema es el rango de tiempo de ocurrencia del alivio; la Normativa vigente (API RP 521 5ta. Edición-2007) permite tomar crédito del uso de este parámetro de análisis.

En el estudio realizado se tomó en cuenta esta variable: en los casos en que existían diferencias apreciables, se desfazaron en el tiempo las contribuciones tomando crédito de la simulación dinámica de la apertura de cada válvula. Por ejemplo, se superpusieron los flujos que aliviaban en el

rango de segundos o minutos; y luego, se agruparon todas las válvulas que aliviaban en el lapso de horas.

Un estudio dinámico permite establecer:

- Contrapresión, reducción de flujo por la contrapresión sobre las válvulas de alivio, acumulación de presión y temperatura.
- Restricciones de flujo de cada subcolector, colector principal y quemador de la antorcha.
- Zonas de exclusión por restricciones de radiación térmica y dispersión de contaminantes.
- Necesidad de adaptar el tipo y/o tamaño de las PSV's de las unidades existentes.
- Retroalimentar el diseño y selección de las PSV's de las nuevas unidades.

La verificación/diseño del sistema de alivio consiste en una evaluación hidráulica que toma en cuenta los siguientes criterios:

- Para la válvula de alivio en cuestión:
 - La caída de presión en la línea de entrada no puede exceder del 3% de la presión de ajuste de la válvula.
 - El porcentaje de contrapresión vs. presión de ajuste no puede exceder el permitido de acuerdo al tipo de válvula (convencional, balanceada, etc.).
 - En la línea de salida se debe cumplir que el número de Mach ≤ 0.7 y el parámetro $\rho \cdot v^2 \leq 150.000 \text{ kg/m.s}^2$.
- Para la evaluación del subcolector/colector:
 - Número de Mach ≤ 0.7 y parámetro $\rho \cdot v^2 \leq 150.000 \text{ kg/m.s}^2$.
 - Caudal aliviado de acuerdo a la contrapresión vs. capacidad máxima de la válvula debe ser superior al 80%, ya que esto puede determinar una excesiva acumulación en el recipiente.
- Para la Antorcha en sí:
 - Número de Mach ≤ 0.7 y parámetro $\rho \cdot v^2 \leq 150.000 \text{ kg/m.s}^2$.
 - Niveles de radiación térmica de acuerdo a la zona a considerar según límites indicados en la normativa y legislación vigente.
 - Las emisiones de contaminantes a la atmósfera no deben superar los límites establecidos por la Normativa vigente.
 - Para condiciones de emergencia, el nivel de ruido en la base de la antorcha no debe exceder 115 dB(A); para operación normal, el nivel de ruido en el área restringida no tiene que exceder 85 dB(A) para el máximo flujo continuo.

La hidráulica de cada subcolector/colector se evaluó teniendo en cuenta la disposición geométrica, datos dimensionales y ubicación de las descargas de cada válvula respecto al sub-colector.

Los flujos considerados para la evaluación de los subcolectores/colectores corresponden al máximo caudal instantáneo al abrir cada válvula. Es importante tener en cuenta estos valores, en particular, para aquellos casos donde la válvula esté sobredimensionada con respecto al caudal requerido por proceso para la contingencia en análisis.

En los casos donde los resultados de la evaluación hidráulica indicaban la existencia de limitaciones para desalojar el caudal requerido debido a la contrapresión que generaba el alivio simultáneo, se procedió a modelar la dinámica de los recipientes en cuestión y establecer la acumulación de presión y temperatura reales basándose en perfiles de presión de antorcha al usar (a) puntos de ajuste reducidos menores que MAWP y donde (b) la velocidad de flujo requerida es menor que la capacidad del dispositivo de alivio real, a fin de evaluar si existía riesgo por un menor alivio o si, por el contrario, estaba dentro de la tolerancia del recipiente a presión.

El siguiente cuadro ilustra los efectos de sobrepresión en recipientes de acero al carbono publicados en un artículo técnico de la empresa ioMosaic miembro de DIERS (The Design Institute for Emergency Relief Systems):

Tabla a. *Efecto de la acumulación de presión en recipientes de Acero al Carbono.*

EFFECTO DE LA ACUMULACIÓN DE PRESIÓN EN RECIPIENTES DE ACERO AL CARBONO		
% MAWP (% sobrepresión)	EFFECTOS PROVOCADOS	OBSERVACIONES
< 135	No se espera ninguno.	Ninguna
135-165	Potencial para leve deformación permanente.	Este rango de presión corresponde al límite de deformación del recipiente y depende tanto del material como del código. Los límites superiores e inferiores corresponden a recipientes diseñados según ASME VIII, Div. 2 y ASME VIII Div. 1 (Edición 1998 y anteriores), respectivamente. Los recipientes según ASME VII, Div. 1 (Edición 1998 con agregados en 1999), se encuentran entre estos valores. Por consiguiente, un valor representativo para este rango es 150%.
165-300	Deformación permanente, posible y pequeña pérdida.	Válida para contingencias remotas, ya que una acción de sobrepresión podría debilitar el recipiente por fatiga.
300-400	Igual a la anterior pero con una mayor probabilidad de experimentar una pérdida grande o un estallido.	Sobrepresión peligrosa.
400-500	Estallido	Típica para recipientes sanos diseñados según código ASME VIII.

Fuente: Maximización del uso de sus estructuras de antorcha existente – artículo técnico de ioMosaic Corporation.

Modificaciones en el Sistema de Alivio:

Con el transcurso de los años, en el complejo se han incorporado unidades (las cuales no fueron contempladas en el diseño original).

En esta sección, se pretende dar una breve descripción de las modificaciones efectuadas en el sistema de alivio (incluyendo el sub-sistema de alivio dulce y el sub-sistema de alivio ácido) desde que se llevó adelante el diseño hasta la actualidad. Para facilitar la comprensión, dichos cambios se presentarán en forma cronológica revisando la capacidad de diseño original, la capacidad actual y la carga de alivio futura.

Para el sub-sistema de **Alivio Dulce**, se verificó primero el diseño original que incluía los alivios de dos unidades destiladoras, una unidad de tratamiento con soda cáustica, una unidad visco reductora y una unidad catalítica. Luego, se agregó el aporte de una unidad de reforming y las modificaciones efectuadas en las unidades existentes. Manteniendo el escenario de diseño, se evaluó la situación actual del sistema adoptando este último como caso base sobre el cual se estudió el comportamiento futuro del sistema con el agregado de las nuevas unidades.

El sub-sistema de **Alivio Ácido** fue diseñado para la contingencia singular de falla de una válvula de control en el stripper de aguas agrias. Se verificó primero el diseño de dicho sistema. Luego, se añadieron al sistema las válvulas de una unidad de aminas y el revamp de la unidad catalítica.

Con el agregado y/o modificación de las unidades mencionadas, al alivio ácido, el escenario más crítico ya no será la contingencia singular de falla de válvula de control sino la falla general de energía eléctrica. Con este escenario, se evaluó la situación actual del sistema y se adoptó este último como caso base sobre el cual se estudió el comportamiento futuro del sistema con el agregado de las nuevas unidades.

Para ambos sub-sistemas, una vez analizado el comportamiento actual para cada escenario de alivio múltiple, se procedió a realizar una propuesta de incorporación de las nuevas unidades a la configuración existente. Para este caso futuro, también, se estudiaron cada una de las contingencias concurrentes presentes en el Proyecto.

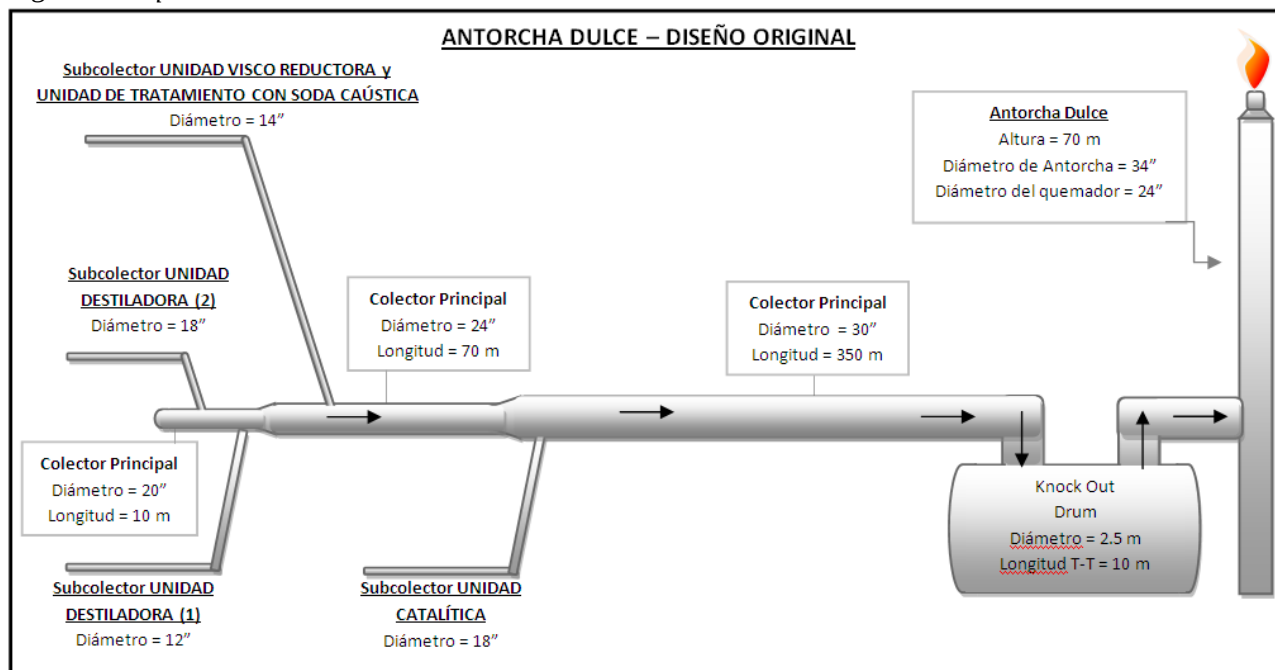
Las situaciones de emergencia identificadas fueron:

- Falla de energía eléctrica: implica una parada de motores de bombas y/o de ventiladores. Esta falla puede tener varios efectos. El caso más crítico toma lugar en torres de fraccionamiento que utilizan enfriadores por aire como condensadores: cuando los motores eléctricos fallan las consecuencias son similares a una falla de agua de enfriamiento, convirtiéndose en la pérdida de reflujo, pérdida de condensación parcial o total, pérdida del enfriamiento de inter-etapas.
- Falla de agua de enfriamiento: implica una descarga simultánea de más de una válvula de alivio debido a la falla en varios condensadores. Típicamente, los equipos más afectados por una falla de agua de enfriamiento son las columnas de fraccionamiento, en las cuales los gases de hidrocarburo pueden generarse y acumularse debido a esta contingencia.
- Fuego externo: cualquier equipo en planta que maneje o procese líquidos inflamables o gases puede ser sometido a fuego. Todos los recipientes e intercambiadores de calor incluidos en un radio de entre 8.60 m a 12.16 m (valores determinados de acuerdo a Norma STD API 521) son afectados y alivian simultáneamente con el equipo directamente expuesto a fuego externo.

1.- DISEÑO ORIGINAL

Para el sub-sistema de **Alivio Dulce**, se verificó primero el diseño original que incluía los alivios de dos unidades destiladoras, una unidad de tratamiento con soda cáustica, una unidad visco reductora y una unidad catalítica. Siendo el esquema y los datos de proceso utilizados los que se presentan a continuación:

Figura 1. Esquema del sub-sistema de alivio dulce al momento de diseño de las antorchas.



El sub-sistema de alivio dulce fue diseñado para el escenario de **falla general de energía eléctrica**, los valores obtenidos de la verificación se muestran en la tabla siguiente:

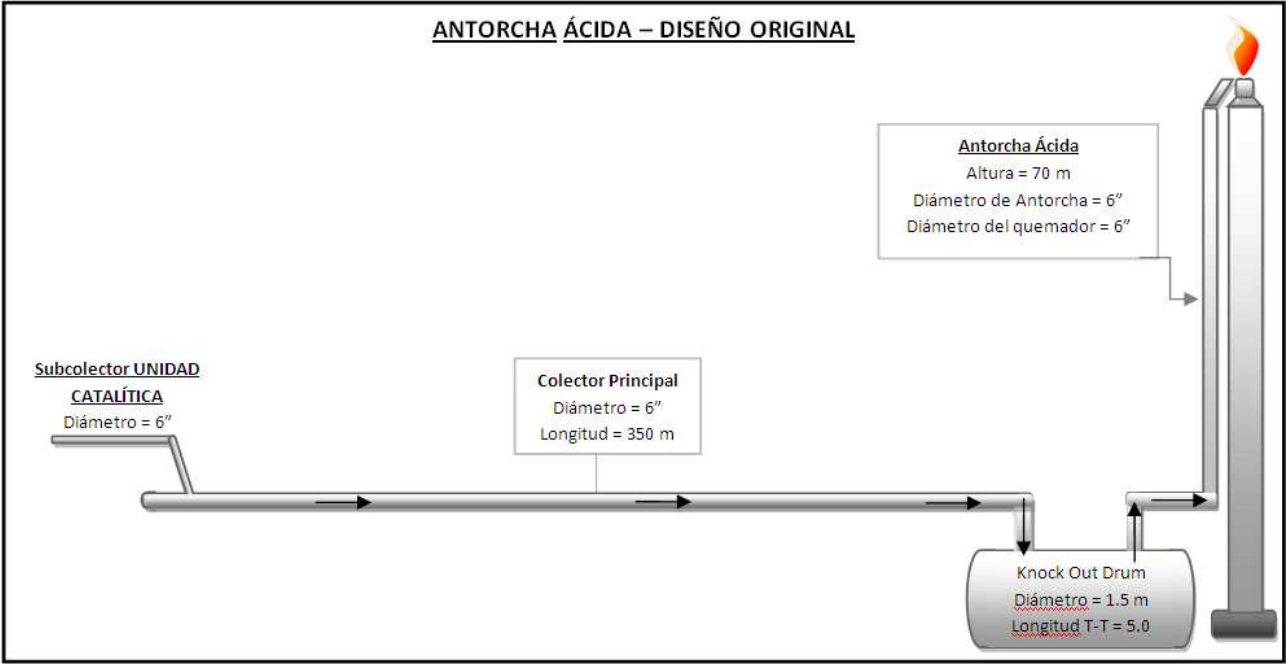
Tabla 1. Caudales de alivio máximos en antorcha dulce para la contingencia de diseño.

DISEÑO ORIGINAL DE ANTORCHA DULCE	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
Unidad destiladora (1)	53.439 Kg/h
Unidad destiladora (2)	75.905 Kg/h
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	27.325 Kg/h
Unidad catalítica	82.139 Kg/h
Total colector principal	238.808 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

El sub-sistema de **Alivio Ácido** fue diseñado para la contingencia singular de **falla de una válvula de control en el stripper de aguas agrias**. Siendo el esquema y los datos de proceso utilizados los que se presentan a continuación:

Figura 2. Esquema del sub-sistema de Alivio Ácido al momento de diseño de las Antorchas.



Los valores obtenidos de la verificación del diseño se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2. Caudal de alivio máximo en antorcha ácida para la contingencia de diseño.

DISEÑO ORIGINAL DE ANTORCHA ÁCIDA	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE VÁLVULA DE CONTROL	
Stripper de aguas agrias - Unidad catalítica	2700 Kg/h

El valor mostrado corresponde al caudal de alivio máximo para la unidad, correspondiente a la máxima capacidad de la válvula considerada.

2.- SISTEMA ACTUAL

El sistema original recibió, posteriormente a su diseño, la incorporación de alivios de nuevas unidades y revamp en las unidades existentes.

El comportamiento actual del sistema se evaluó para todos los escenarios concurrentes presentes en el proyecto: falla general de energía eléctrica, falla de agua de enfriamiento y fuego en cada unidad.

La contingencia de fuego en cada una de las plantas no representaba un posible caso crítico para la verificación del colector principal; pero sí, permitió la evaluación de los sub-colectores correspondientes a las unidades analizadas. En este desarrollo, a modo de ejemplo, se presentará el escenario de fuego para una de las unidades existentes; no obstante, en el estudio fue analizado este escenario para todas las unidades existentes.

Para el sub-sistema de **Alivio Dulce**, se determinaron los nuevos caudales de alivio adicionando al sistema original el aporte proveniente de la incorporación de una unidad de reforming y del revamp de la unidad catalítica.

Figura 3. Esquema actual del sub-sistema de alivio dulce.

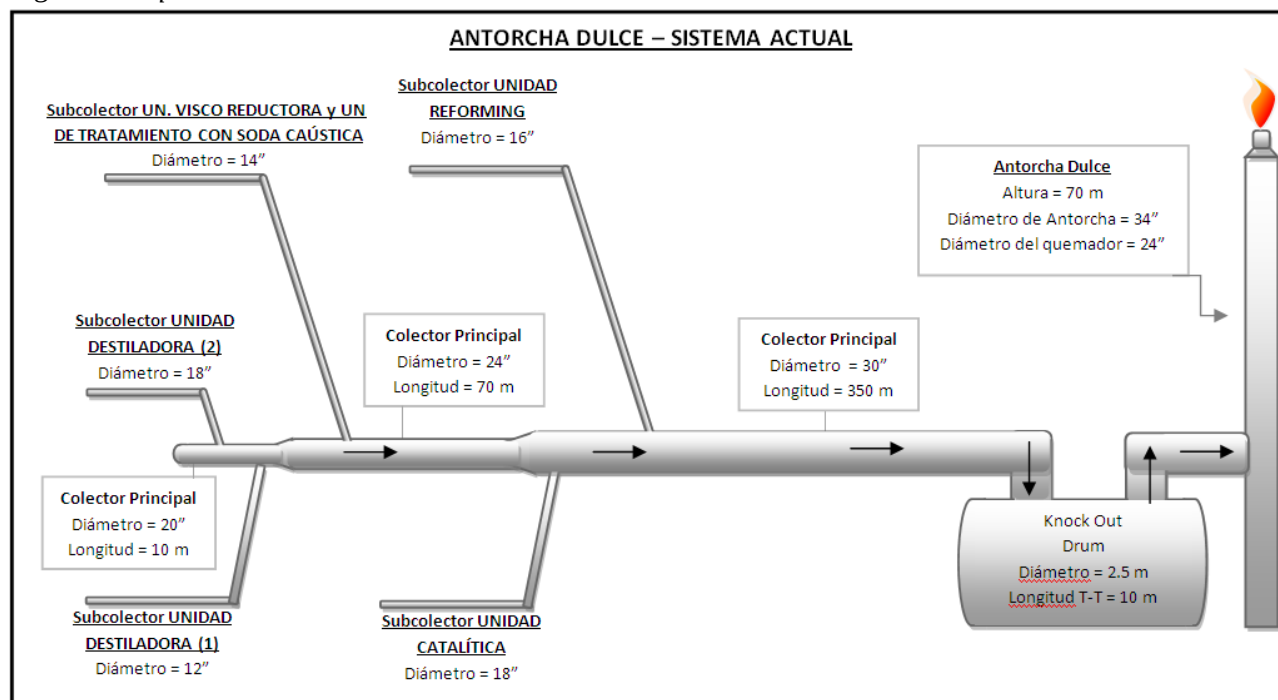


Tabla 3. Caudales de alivio máximos para la contingencia más crítica en el sub-sistema dulce actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE ACTUAL	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
Unidad destiladora (1)	53.439 Kg/h
Unidad destiladora (2)	75.905 Kg/h
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	27.325 Kg/h
Unidad catalítica	114.000 Kg/h
Unidad de reforming	130.341 Kg/h
Total colector principal	401.010 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

Tabla 4. Caudales de alivio máximos para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema dulce actual.

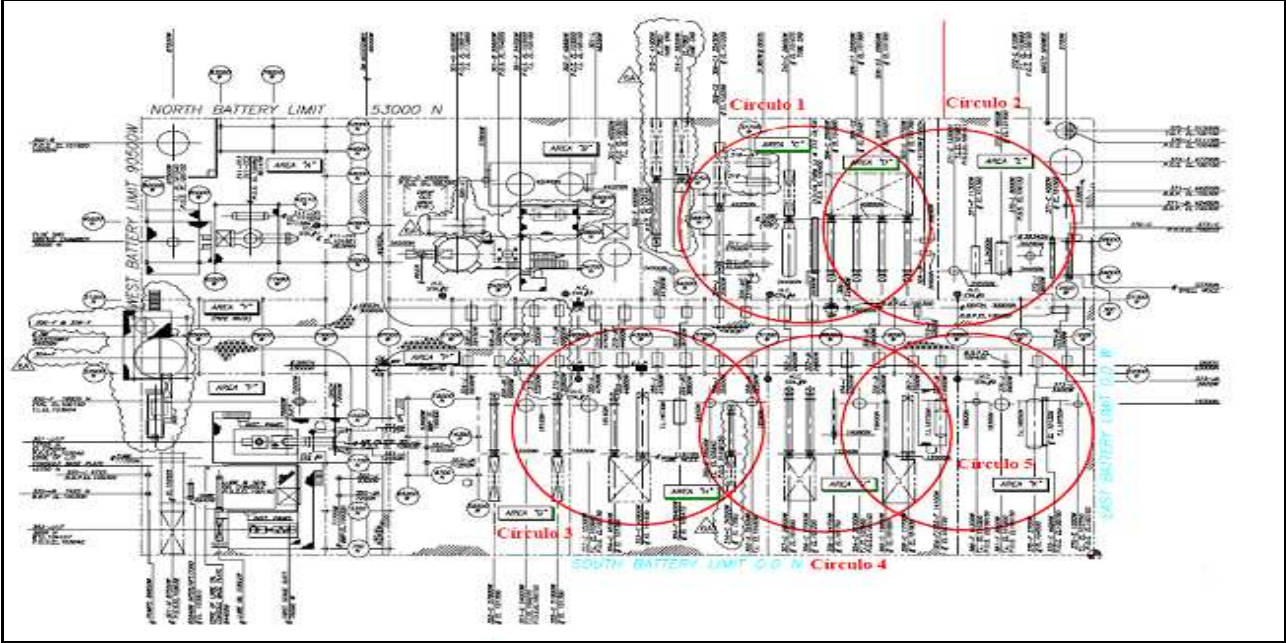
SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE ACTUAL	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	
Unidad destiladora (1)	2930 Kg/h
Unidad destiladora (2)	9176 Kg/h
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	---
Unidad catalítica	135.000 Kg/h
Unidad de reforming	35.201 Kg/h
Total colector principal	182.307 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

En este desarrollo, se muestran los caudales de alivio máximos, a la antorcha dulce, ante el escenario de **fuego en la unidad catalítica**.

Se localizaron diferentes círculos sobre el plot plan, con el fin de analizar los caudales que se originaban dentro del área delimitada por cada uno:

Figura 4. Área de influencia de un fuego externo con alivio simultáneo, en la unidad catalítica.



Cabe mencionar que, todos aquellos equipos incluidos en un radio de 12 metros se consideran afectados y alivian simultáneamente con el equipo directamente expuesto a fuego externo. El punto de partida del radio es aquel que maximice la cantidad de equipos expuestos al fuego.

La contingencia por fuego fue evaluada sólo para aquellos recipientes cuya elevación con respecto al piso o plataforma sólida no sea mayor a 7.62 metros.

Tabla 5. Caudales de alivio máximos para fuego en la unidad catalítica.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE ACTUAL	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR CÍRCULO – FUEGO EN UNIDAD CATALÍTICA	
Círculo 1	8606 Kg/h
Círculo 2	36.361 Kg/h
Círculo 3	40.384 Kg/h
Círculo 4	35.076 Kg/h
Círculo 5	24.828 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas dentro de cada círculo.

Notar que, para el escenario de fuego, cada uno de los círculos alivia independientemente del resto; se considera el alivio simultáneo de las válvulas contenidas dentro de un mismo círculo.

Para el sub-sistema de **Alivio Ácido**, se determinaron los nuevos caudales adicionando al sistema original el aporte proveniente de la incorporación de una unidad de aminas y del revamp de la unidad catalítica.

Figura 5. Esquema actual del sub-sistema de alivio ácido.

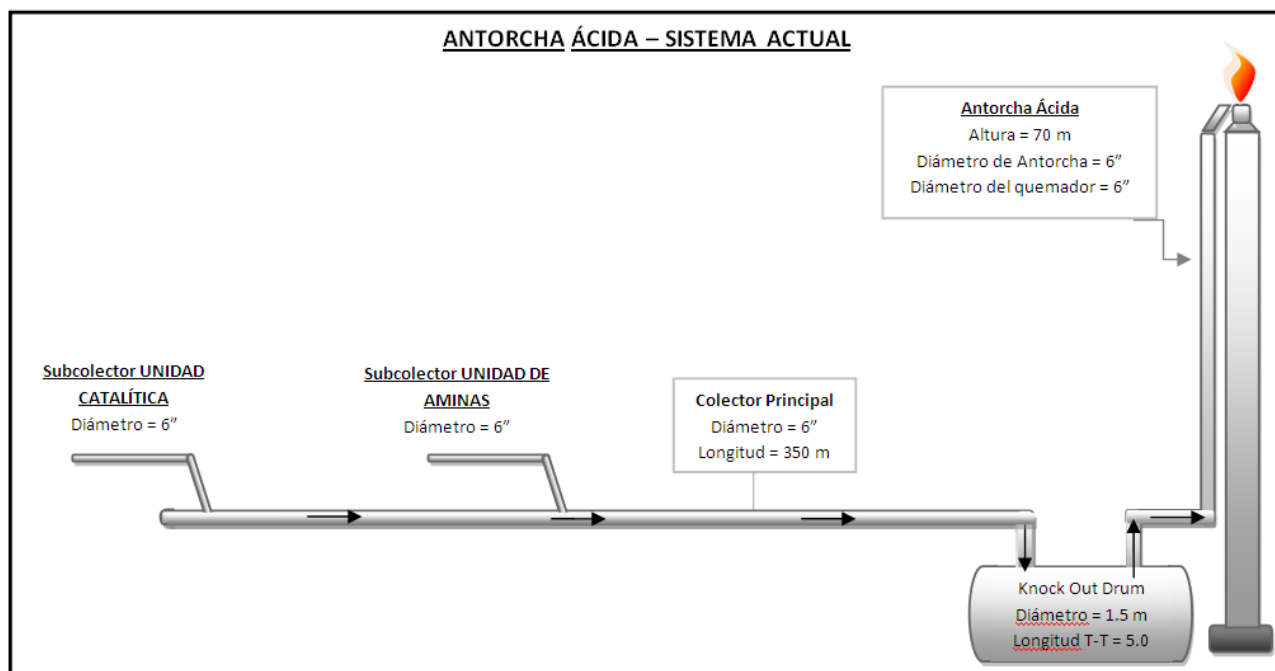


Tabla 6. Caudales de alivio máximos para la contingencia más crítica en el sub-sistema ácido actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO ACTUAL	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
Unidad catalítica	2800 Kg/h
Unidad existente de aminas	1500 Kg/h
Total colector principal	4300 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

Tabla 7. Caudales de alivio máximos para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema ácido actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO ACTUAL	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	
Unidad catalítica	1200 Kg/h
Unidad existente de aminas	---
Total colector principal	1200 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

3.- SISTEMA FUTURO

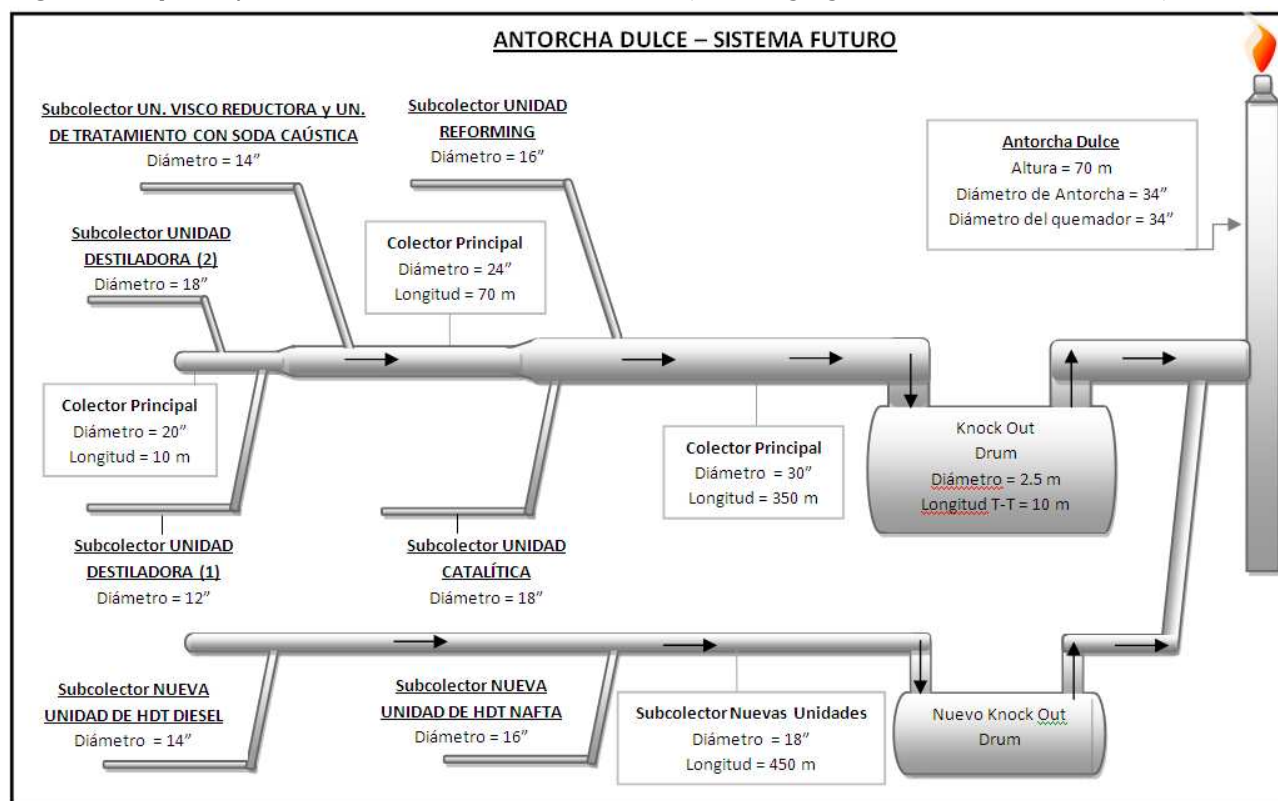
Adoptando como caso base los sistemas descritos en el punto anterior (Ítem 2.- Sistema Actual) se planteará el esquema propuesto para el sistema de alivio futuro, con el agregado de las nuevas unidades.

El comportamiento futuro del sistema se evaluó para cada una de las contingencias concurrentes presentes en el proyecto: falla general de energía eléctrica, falla de agua de enfriamiento y fuego en cada unidad.

Al igual que lo planteado para el sistema actual, en este desarrollo se presentará el escenario de fuego para una de las unidades nuevas. No obstante, en el estudio realizado se analizó este escenario para todas las unidades.

Cabe mencionar que, para el caso del **sub-sistema de Alivio Dulce**, el Knock Out Drum existente no admite la incorporación de nuevos contribuyentes para ser separados por el mismo; por lo tanto, se propuso que las nuevas unidades tengan un equipo de separación dedicado, tal como se muestra en el esquema siguiente:

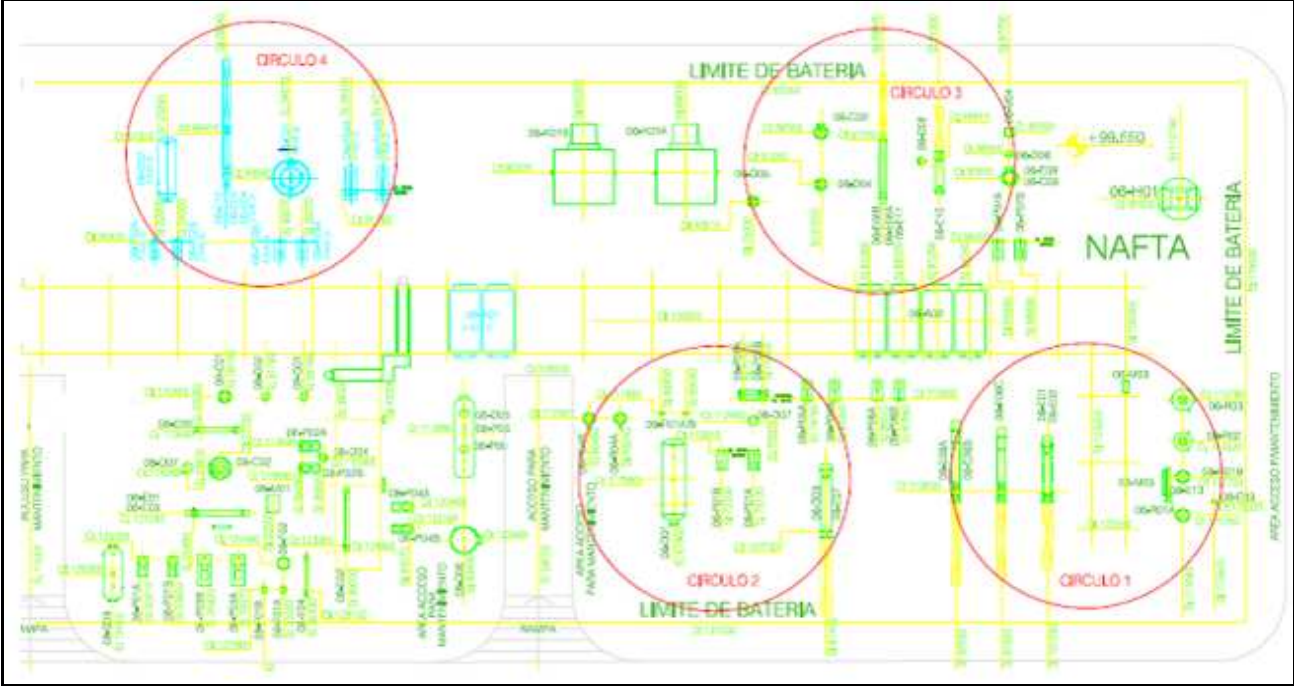
Figura 6. Esquema futuro del sub-sistema de alivio dulce (con el agregado de las nuevas unidades).



En este desarrollo, se muestran los caudales de alivio máximos, a la antorcha dulce, ante el escenario de **fuego en la unidad de HDT de Nafta**.

Se localizaron diferentes círculos sobre el plot-plan, con el fin de analizar los caudales de alivio que se originaban dentro del área delimitada por cada uno:

Figura 7. Área de influencia de un fuego externo con alivio simultáneo, en la unidad de HDT de Nafta.



Todos aquellos equipos incluidos en un radio de 12 metros se consideran afectados y alivian simultáneamente con el equipo directamente expuesto a fuego externo. El punto de partida del radio es aquel que maximiza la cantidad de equipos expuestos al fuego.

Tabla 8. Caudales de alivio máximos para fuego en la unidad catalítica.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE FUTURO	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR CÍRCULO – FUEGO EN UNIDAD HDT NAFTA	
Círculo 1	312.728 Kg/h
Círculo 2	40.788 Kg/h
Círculo 3	33.586 Kg/h
Círculo 4	Unidades futuras no contempladas en este proyecto.

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos. Cada uno de los círculos alivia independientemente del resto; se considera el alivio simultáneo de las válvulas contenidas dentro de un mismo círculo.

En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha dulce, los caudales de alivio máximos ante el escenario de **falla general de energía eléctrica**:

Tabla 9. *Caudales de alivio máximos para la contingencia más crítica en el sub-sistema dulce futuro.*

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE FUTURO	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
Unidad destiladora (1)	53.439 Kg/h
Unidad destiladora (2)	75.905 Kg/h
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	27.325 Kg/h
Unidad catalítica	114.000 Kg/h
Unidad de reforming	130.341 Kg/h
Unidad nueva de HDT nafta	34.000 Kg/h
Unidad nueva de HDT diesel	38.000 Kg/h
<i>Total colector principal</i>	<i>474.000 Kg/h</i>

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha dulce, los caudales de alivio máximos ante el escenario de **falla de agua de enfriamiento**:

Tabla 10. *Caudales de alivio máximos para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema dulce futuro.*

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE FUTURO	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	
Unidad destiladora (1)	2930 Kg/h
Unidad destiladora (2)	9176 Kg/h
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	---
Unidad catalítica	135.000 Kg/h
Unidad de reforming	35.201 Kg/h
Unidad nueva de HDT nafta	17.200 Kg/h
Unidad nueva de HDT diesel	4500 Kg/h
<i>Total colector principal</i>	<i>204.007 Kg/h</i>

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

Para el **sub-sistema de Alivio Ácido**, el Knock Out Drum existente admite la incorporación de los nuevos contribuyentes; por lo tanto, el esquema propuesto es el siguiente:

Figura 8. Esquema futuro del sub-sistema de alivio ácido (con el agregado de las nuevas Unidades).

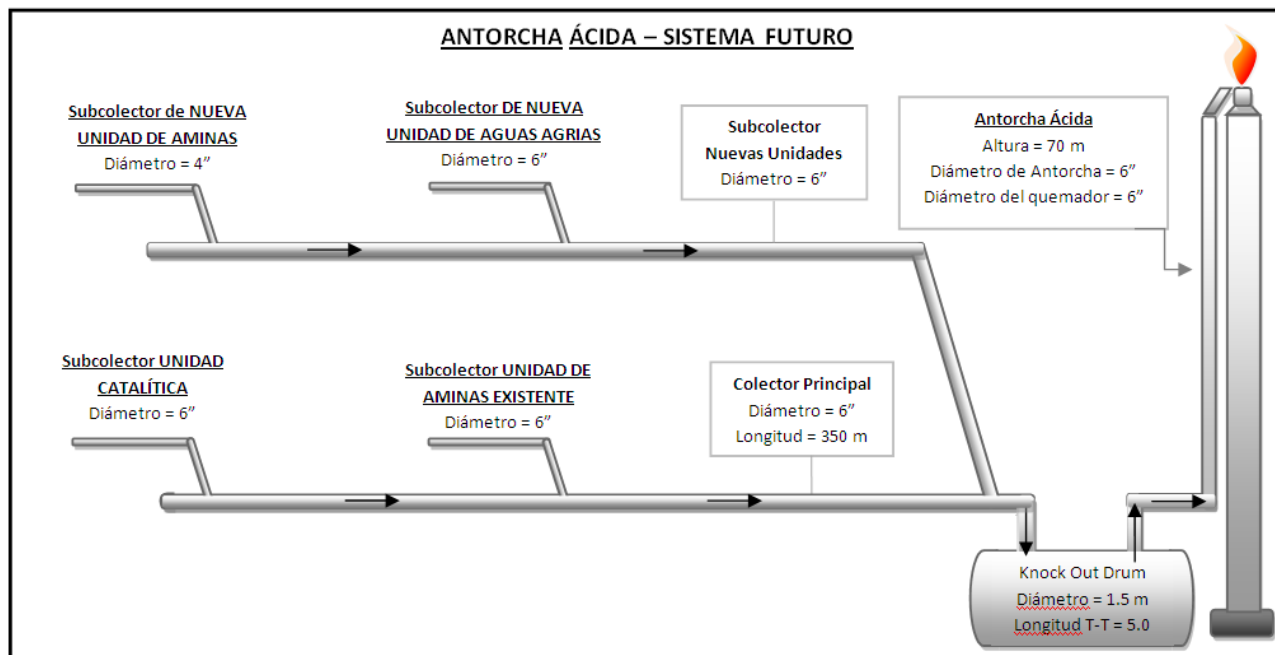


Tabla 11. Caudales de alivio máximos para la contingencia más crítica en el sub-sistema ácido futuro.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO FUTURO	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
Unidad catalítica	2800 Kg/h
Unidad existente de aminas	1500 Kg/h
Unidad nueva de aminas	2100 Kg/h
Unidad nueva de aguas agrias	1300 Kg/h
Total colector principal	7700 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

Tabla 12. Caudales de alivio máximos para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema ácido futuro.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO FUTURO	
CAUDALES DE ALIVIO DISCRIMINADOS POR PLANTA – FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	
Unidad catalítica	1200 Kg/h
Unidad existente de aminas	---
Unidad nueva de aminas	2500 Kg/h
Unidad nueva de aguas agrias	---
Total colector principal	3700 Kg/h

Los valores mostrados corresponden a los caudales de alivio máximos para cada una de las unidades, correspondientes a la máxima capacidad de las válvulas consideradas.

Resultados:

A continuación, se detallan los resultados del Estudio Dinámico realizado para cada una de las contingencias de alivios concurrentes.

1.- DISEÑO ORIGINAL

Para la **Antorcha Dulce**, los cálculos se realizaron para la contingencia de diseño (**falla general de energía eléctrica**) siendo el esquema utilizado el mostrado anteriormente en la Fig. 1.

Tabla 13. Caudales de alivio en antorcha dulce para la contingencia de diseño.

DISEÑO ORIGINAL DE ANTORCHA DULCE FALLA GENERAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad destiladora (1)	53.278 Kg/h	99.7	0.81 kg/cm ² g
Unidad destiladora (2)	75.450 Kg/h	99.4	0.81 kg/cm ² g
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	24.374 Kg/h	89.2	0.77 kg/cm ² g
Unidad catalítica	80.742 Kg/h	98.3	0.74 kg/cm ² g
<i>Total colector principal</i>	<i>233.844 Kg/h</i>	<i>96.7</i>	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Los valores mostrados en la tabla anterior permitieron concluir que el diseño original verifica para el sub-sistema de alivio dulce.

El escenario considerado para el diseño original del **sub-sistema de Alivio Ácido** no corresponde a una contingencia concurrente; por lo tanto, carece de sentido la evaluación dinámica del mismo.

2.- SISTEMA ACTUAL

Para la **Antorcha Dulce** los cálculos se realizaron para las contingencias concurrentes consideradas, siendo el esquema utilizado el mostrado anteriormente en la Fig. 3.

A continuación, se presentan los resultados ante el escenario de **fuego en la unidad catalítica**:

Tabla 14. Caudales de alivio al sistema dulce, para el escenario de fuego en la unidad catalítica.

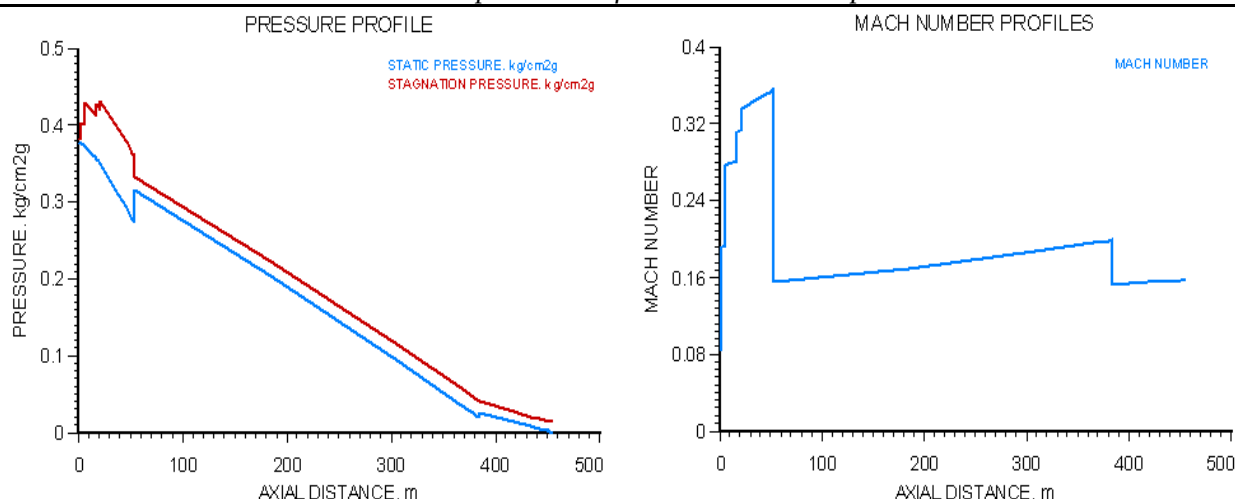
SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE ACTUAL FUEGO EN LA UNIDAD CATALÍTICA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Círculo 1	8606 Kg/h	100.0	---
Círculo 2	36.361 Kg/h	100.0	---
Círculo 3	40.384 Kg/h	100.0	0.38 kg/cm ² g
Círculo 4	35.076 Kg/h	100.0	---
Círculo 5	24.828 Kg/h	100.0	---

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de todas las válvulas contenidas en un mismo círculo y la contrapresión estática del cabezal.

Notar que, para el escenario de fuego, cada uno de los círculos alivia independientemente del otro; se considera el alivio simultáneo de las válvulas contenidas dentro de un mismo círculo.

Se muestran los gráficos para el círculo (Círculo 3) que proporciona el máximo caudal de alivio:

Gráfico 1. Perfil de presión y número de Mach para el caso de fuego en la unidad catalítica aliviando al sub-sistema dulce actual. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha dulce, los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de energía eléctrica**:

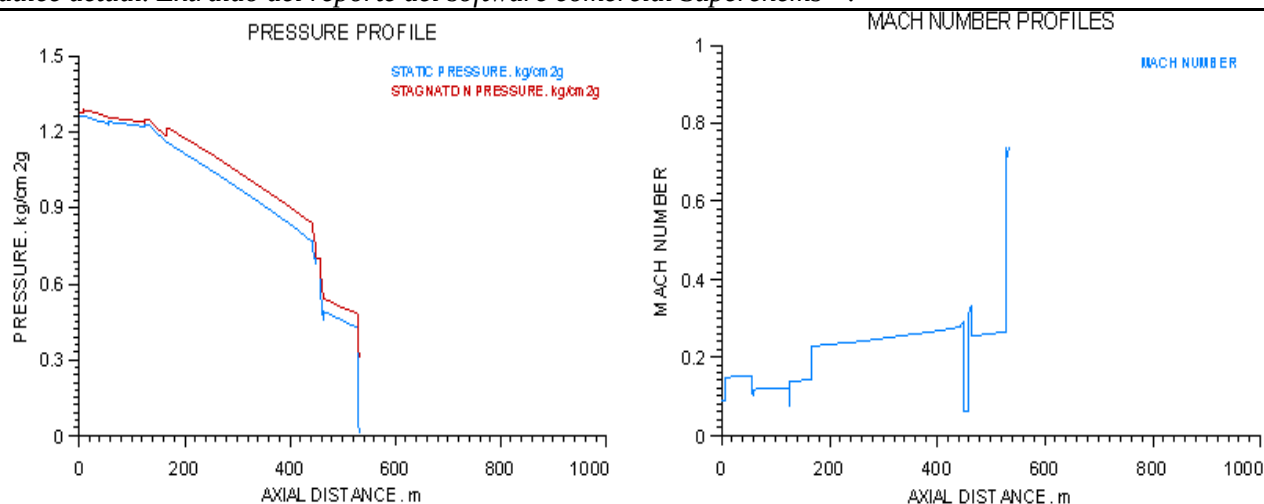
Tabla 15. Caudales de alivio para falla de energía eléctrica en el sub-sistema dulce actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE ACTUAL FALLA GENERAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad destiladora (1)	44.941 Kg/h	84.1	1.22 kg/cm ² g
Unidad destiladora (2)	63.712 Kg/h	83.9	1.21 kg/cm ² g
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	20.265 Kg/h	74.2	1.20 kg/cm ² g
Unidad catalítica	92.055 Kg/h	80.8	1.18 kg/cm ² g
Unidad de reforming	130.341 Kg/h	100.0	1.16 kg/cm ² g
Total colector principal	351.314 Kg/h	84.6	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

En la tabla anterior, se puede observar que algunas áreas presentan limitaciones para desalojar el caudal por contrapresión; para estos casos, se procedió a modelar la dinámica en los recipientes más comprometidos y no se detectaron problemas de acumulación.

Gráfico 2. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de energía eléctrica en el sub-sistema dulce actual. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



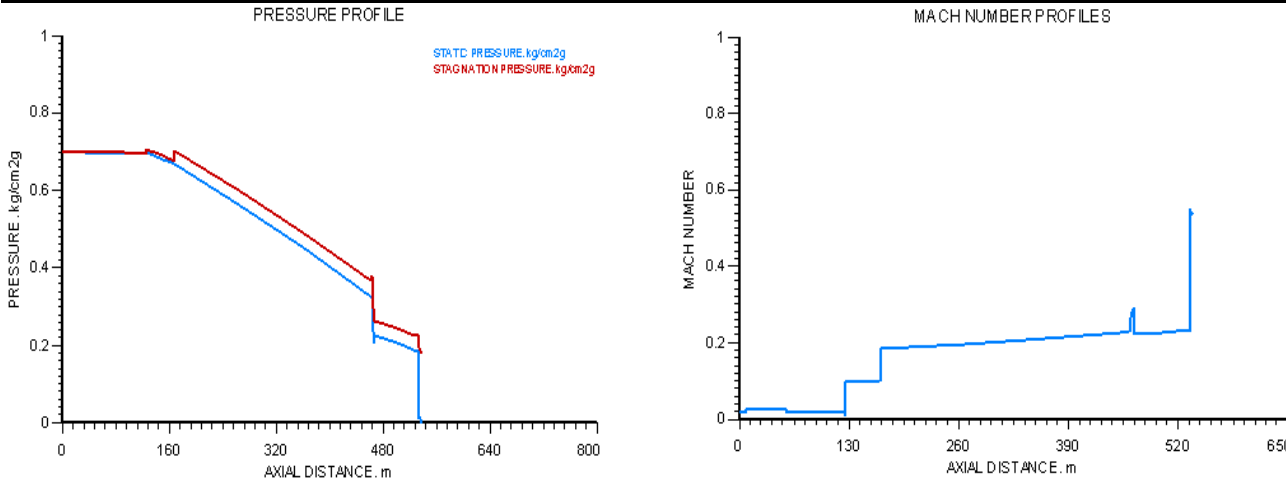
En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha dulce, los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de agua de enfriamiento**:

Tabla 16. Caudales de alivio para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema dulce actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE ACTUAL FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad destiladora (1)	2927 Kg/h	99.9	0.70 kg/cm ² g
Unidad destiladora (2)	9166 Kg/h	99.9	0.70 kg/cm ² g
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	---	---	---
Unidad catalítica	133.654 Kg/h	99.5	0.70 kg/cm ² g
Unidad de reforming	34.850 Kg/h	99.5	0.67 kg/cm ² g
<i>Total colector principal</i>	<i>180.597 Kg/h</i>	<i>99.7</i>	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 3. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema dulce actual. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



Para la **Antorcha Ácida** los cálculos se realizaron para las contingencias concurrentes propuestas, siendo el esquema utilizado el mostrado anteriormente en la Fig. 5.

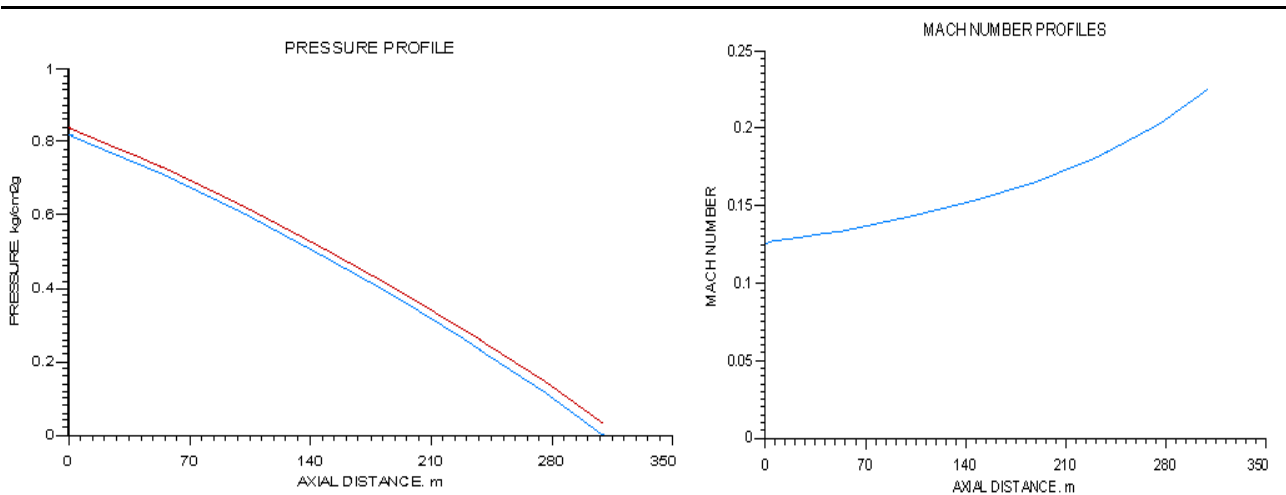
En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha ácida, los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de energía eléctrica**:

Tabla 17. Caudales de alivio para falla de energía eléctrica en el sub-sistema ácido actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO ACTUAL			
FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad catalítica	2797 Kg/h	99.9	0.82 kg/cm ² g
Unidad de aminas	1499 Kg/h	99.9	0.82 kg/cm ² g
Total colector principal	4296 Kg/h	99.9	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 4. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de energía eléctrica en el sub-sistema ácido actual. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



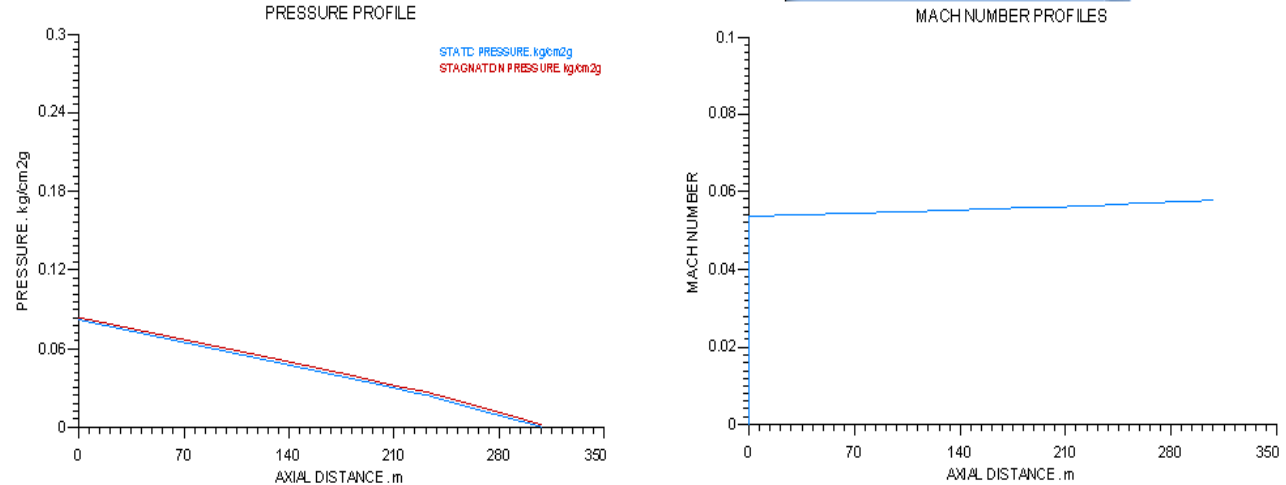
En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha ácida, los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de agua de enfriamiento**:

Tabla 18. Caudales de alivio para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema ácido actual.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO ACTUAL			
FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad catalítica	1200 Kg/h	100.0	0.10 kg/cm ² g
Unidad de aminas	---	---	
Total colector principal	1200 Kg/h	100.0	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 5. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema ácido actual. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



Observando el comportamiento de ambos sub-sistemas de alivio (dulce y ácido) para los diferentes escenarios propuestos, se concluyó que la contingencia más crítica era la de falla de energía

eléctrica; no obstante, los dos sub-sistemas actuales verifican. La contrapresión generada permite el correcto alivio de todas las unidades.

Un parámetro crítico en el análisis fue el número de Mach; los gráficos expuestos muestran que en ningún caso se sobrepasaba el límite preestablecido. Sin embargo, se puede observar que en el sub-sistema de alivio dulce, para la contingencia más crítica, se obtuvieron valores del mismo cercanos al límite; de esto se deduce que una ampliación en el sistema de alivio obligará a un cambio del quemador de antorcha dulce existente por uno de mayor tamaño.

3.- SISTEMA FUTURO

Para el sub-sistema de **Alivio Dulce**, los cálculos se realizaron para las contingencias concurrentes planteadas considerando el aporte de caudal proveniente de las nuevas unidades contempladas en el proyecto. El esquema utilizado corresponde al mostrado anteriormente en la Fig. 6.

Cabe mencionar que, para la antorcha dulce se propuso el cambio del quemador existente por uno de mayor tamaño; obteniéndose así una menor caída de presión y un número de Mach por debajo del límite establecido. Los resultados mostrados en este ítem consideran el cambio mencionado.

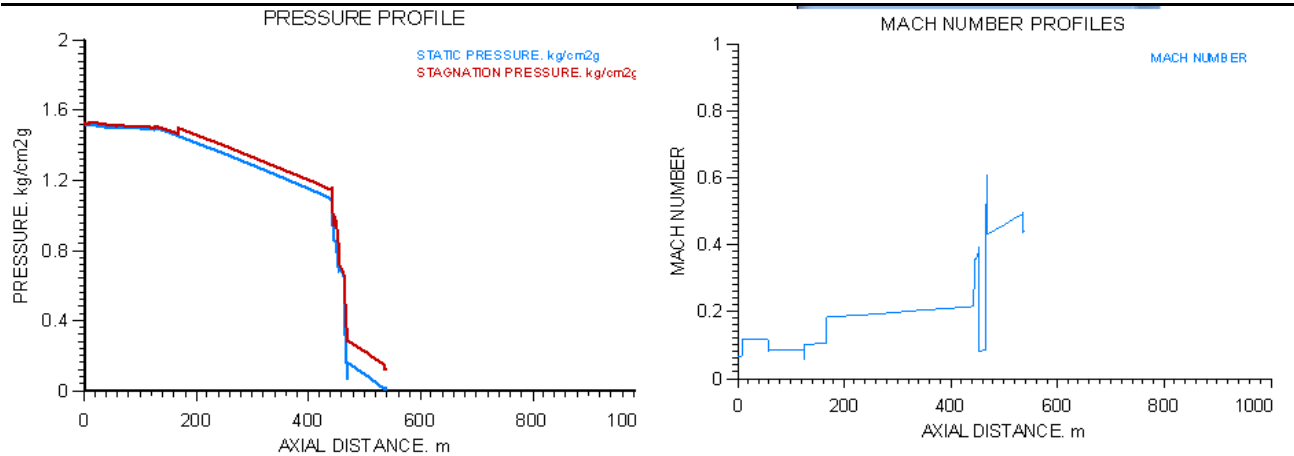
En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha dulce, los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de energía eléctrica**:

Tabla 19. Caudales de alivio para falla de energía eléctrica en el sub-sistema dulce futuro.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE FUTURO FALLA GENERAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad destiladora (1)	42.275 Kg/h	78.3	1.49 kg/cm ² g
Unidad destiladora (2)	60.457 Kg/h	79.5	1.49 kg/cm ² g
Un. visco reductora / Un. de tratamiento con soda	14.441 Kg/h	51.6	1.47 kg/cm ² g
Unidad catalítica	87.852 Kg/h	77.0	1.45 kg/cm ² g
Unidad de reforming	130.210 Kg/h	99.9	1.39 kg/cm ² g
Unidad nueva HDT nafta	33.932 Kg/h	99.8	0.47 kg/cm ² g
Unidad nueva HDT diesel	37.924 Kg/h	99.8	0.47 kg/cm ² g
<i>Total colector principal</i>	<i>407.091 Kg/h</i>	<i>83.7</i>	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 6. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de energía eléctrica en el sub-sistema dulce futuro. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



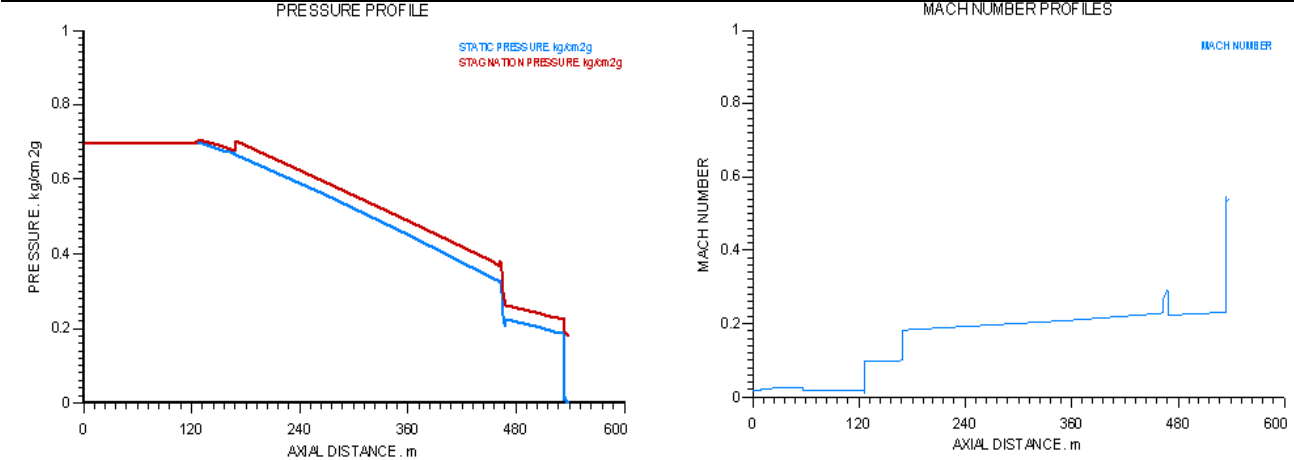
En la tabla siguiente se muestran, para la antorcha dulce, los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de agua de enfriamiento**:

Tabla 20. Caudales de alivio para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema dulce futuro.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE FUTURO FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad destiladora (1)	2927 Kg/h	99.9	0.70 kg/cm ² g
Unidad destiladora (2)	9167 Kg/h	99.9	0.70 kg/cm ² g
Unidad catalítica	134.320 Kg/h	99.5	0.70 kg/cm ² g
Unidad de reforming	35.025 Kg/h	99.5	0.67 kg/cm ² g
Unidad nueva HDT nafta	17183	99.9	0.32 kg/cm ² g
Unidad nueva HDT diesel	4496	99.9	0.32 kg/cm ² g
Total colector principal	203.118 Kg/h	99.7	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 7. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema dulce futuro. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



Se presentan los resultados ante el escenario de **fuego en la unidad de HDT de Nafta**:

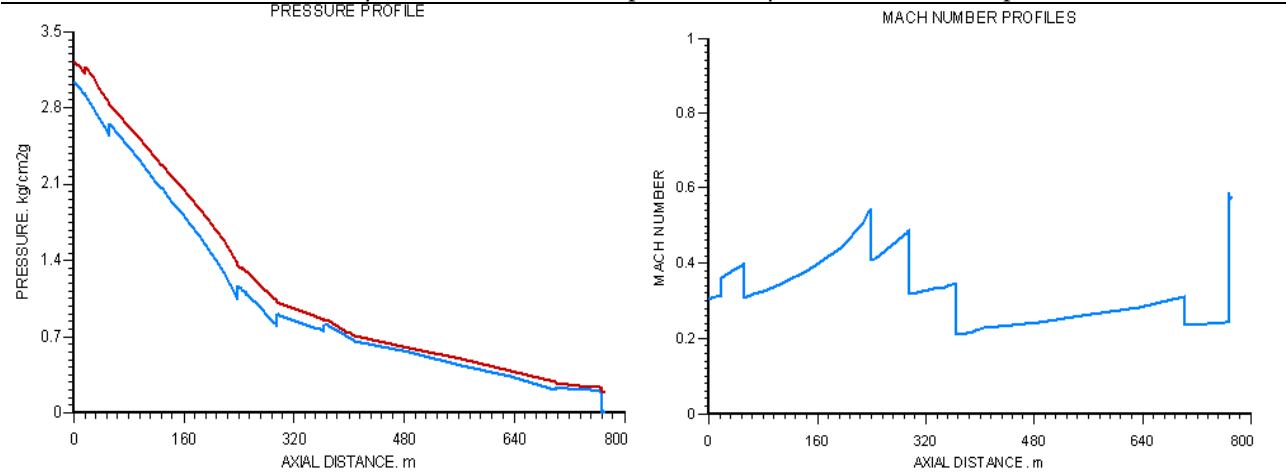
Tabla 21. Caudales de alivio al sub-sistema dulce para el escenario de fuego en la unidad de HDT de Nafta Catalítica.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO DULCE FUTURO FUEGO EN LA UNIDAD DE HDT DE NAFTA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Círculo 1	265819 Kg/h	85.0	2.9 kg/cm ² g
Círculo 2	40.788 Kg/h	100.0	---
Círculo 3	33.586 Kg/h	100.0	---

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de todas las válvulas contenidas en un mismo círculo y la contrapresión estática del cabezal.

Notar que, para el escenario de fuego, cada uno de los círculos alivia independientemente del otro; se considera el alivio simultáneo de las válvulas contenidas dentro de un mismo círculo.
Se muestran los gráficos para el círculo (Círculo 1) que proporciona el máximo caudal de alivio:

Gráfico 8. Perfil de presión y número de Mach para el caso de fuego en la unidad de HDT de Nafta aliviando al sub-sistema dulce futuro. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



Para la situación futura propuesta de alivio dulce (y tomando en cuenta la modificación planteada con respecto al quemador de la antorcha) se observaron problemas de sobrepresión en algunas unidades cuando se evaluó el escenario de falla de energía eléctrica y los escenarios de fuego en algunas de las nuevas unidades. No obstante, al evaluar mediante simulación dinámica los recipientes que pudieran tener acumulación de presión y temperatura, los resultados fueron satisfactorios en todos los casos. En dichos casos, se procedió a especificar un cambio en el tipo de válvula de seguridad, ya sea de convencional a balanceada o de balanceada a piloto según corresponda.

Para el sub-sistema de **Alivio Ácido**, los cálculos se realizaron para las contingencias concurrentes planteadas anteriormente, considerando el aporte de caudal proveniente de las nuevas unidades contempladas en el proyecto. El esquema utilizado corresponde al mostrado anteriormente en la Fig. 8.

Cabe destacar que, no se consideró el alivio de la unidad de aminas existente (tal como se muestra en la tabla 11 del presente documento) ya que se tomó crédito de la simulación dinámica, y se desfasó este alivio con respecto al resto por tener un tiempo de inicio en el lapso de horas.

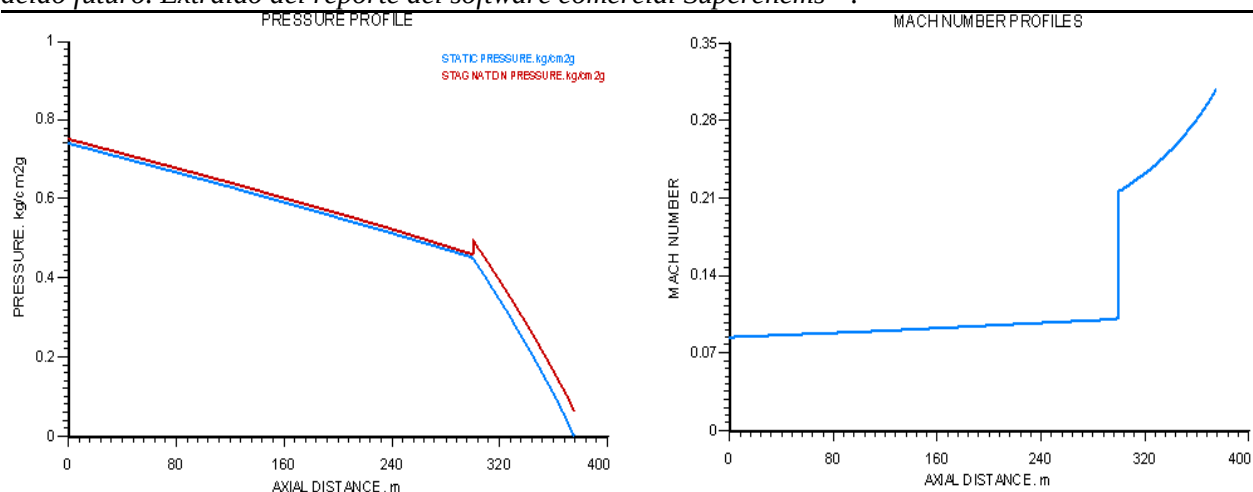
Los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de energía eléctrica** son:

Tabla 22. Caudales de alivio para falla de energía eléctrica en el sub-sistema ácido futuro.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO FUTURO FALLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad catalítica	2754 Kg/h	98.4	0.74 kg/cm ² g
Unidad de aminas	---	---	---
Unidad nueva de aminas	2040 Kg/h	97.1	0.45 kg/cm ² g
Unidad nueva aguas agrias	1251 Kg/h	96.2	0.45 kg/cm ² g
<i>Total colector principal</i>	<i>6045 Kg/h</i>	<i>97.2</i>	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 9. Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de energía eléctrica en el sub-sistema ácido futuro. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM.



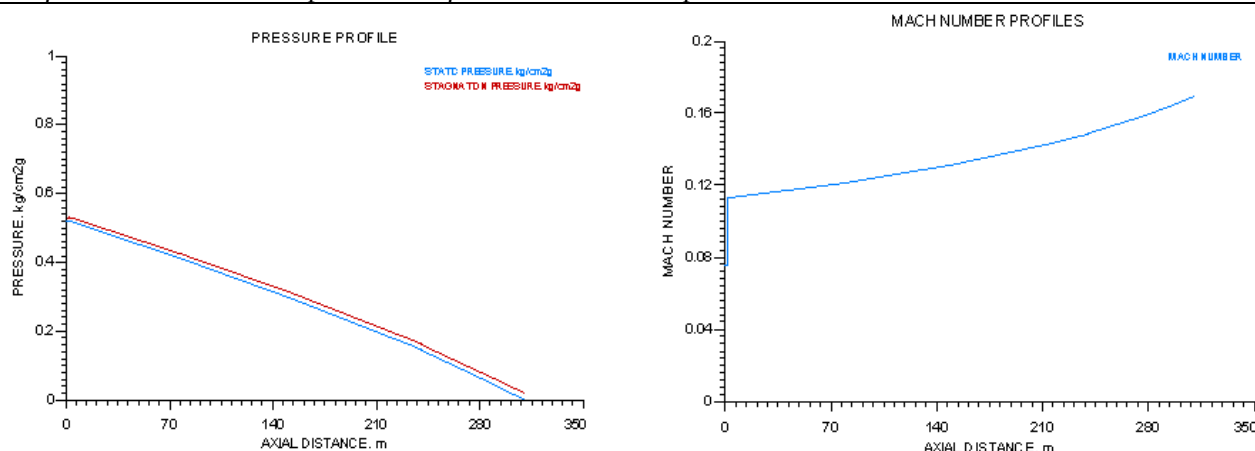
Los caudales de alivio reales ante el escenario de **falla de agua de enfriamiento** son:

Tabla 23. Caudales de alivio para falla de agua de enfriamiento en el sub-sistema ácido futuro.

SUB-SISTEMA DE ALIVIO ÁCIDO FUTURO FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO			
	Caudal real de alivio	% Fl. a aliviar / Fl. máximo	Contrapresión en acometida
Unidad catalítica	1165 Kg/h	97.0	0.52 kg/cm ² g
Unidad de aminas	---	---	---
Unidad nueva de aminas	2425 Kg/h	97.0	0.52 kg/cm ² g
Unidad nueva aguas agrias	---	---	---
<i>Total colector principal</i>	<i>3590 Kg/h</i>	<i>97.0</i>	

Los caudales reportados están afectados por la contrapresión superimpuesta variable del alivio concurrente de otros subcolectores y la contrapresión estática del cabezal. En la tabla se indica la contrapresión en el punto de acometida del respectivo subcolector al cabezal principal de alivio.

Gráfico 10. *Perfil de presión y número de Mach para el caso de falla de agua de enfriamiento en el sistema ácido futuro. Extraído del reporte del software comercial SuperchemsTM*



Para el caso futuro propuesto de alivio ácido, no se observaron problemas de sobrepresión para ninguno de los escenarios estudiados. Así como tampoco, se presentan problemas de número de Mach mayores a 0.7 ni valores de $\rho.v^2$ mayores a 150.000 Pa.

CONCLUSIONES

El estudio realizado arrojó como resultado que el sub-sistema de **Alivio Ácido** permite la incorporación de las nuevas unidades contempladas en el proyecto en cuestión, no presentando problemas de sobrepresión en el resto de las unidades. Se observó también, para dicho sistema, el cumplimiento de todos los parámetros a considerar para una verificación.

Para el sistema de **Alivio Dulce**, el estudio determinó que admite la adición de las nuevas unidades siempre que se tengan en cuenta las siguientes recomendaciones a implementar:

- La incorporación de un nuevo knock-out drum dedicado a las unidades contempladas por el proyecto, ya que el existente no admite el agregado de nuevos contribuyentes.
- El cambio del quemador de la antorcha existente por uno de mayor tamaño, con el fin de evitar la excesiva caída de presión y el alto número de mach.

Se concluye, también, que si bien se observaron problemas de sobrepresión en algunas unidades que alivian al Sub-sistema Dulce, la evaluación dinámica efectuada en los equipos pertenecientes a dichas áreas determinó que no presentan problemas de acumulación.

Por otra parte, se establecieron modificaciones menores comunes a ambos sistemas:

- Escalonamiento de válvulas de alivio para los casos en que el área seleccionada es considerablemente mayor a la requerida para la contingencia múltiple que dimensiona el colector principal.
- Cambio de válvulas convencionales por balanceadas o tipo piloto (en los casos en que el servicio lo permita).

BIBLIOGRAFÍA

- API Standard 521- 5ta. Edición- Enero 2007- Pressure Relieving and Depressuring System.
- API Standard 520 - Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries. Part I – Sizing and Selection.
- API Standard 520 - Sizing, Selection, and Installation of Pressure- Relieving Devices in Refineries. Part II – Installation.
- API Standard 526 - Flanged Steel Pressure Relief Valves.
- API Standard 537 - Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service.
- ioMosaic Corporation - Advanced Consequence Analysis: Fluid Flow, Emergency Relief Systems Design, Thermal Hazards Assessment, Emission, Dispersion, Fire, and Explosion Dynamics.