

**REVISIÓN HIDRÁULICA Y ACTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMA DE RELEVO DE LA
TEA N° 6, UNIDAD DE BALANCE GERENCIA DE REFINACIÓN
BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A.)**

CAMILO ANDRÉS MENA GALVIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

**REVISIÓN HIDRÁULICA Y ACTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMA DE RELEVO DE LA
TEA N° 6, UNIDAD DE BALANCE GERENCIA DE REFINACIÓN
BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A.)**

CAMILO ANDRÉS MENA GALVIS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Químico**

Director

Prof. ÁLVARO RAMÍREZ GARCÍA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

*A mis padres, hermanos y amigos,
colaboradores incondicionales, quienes
con su apoyo y dedicación,
contribuyeron a que alcanzara esta
meta.*

CAMILO ANDRÉS

AGRADECIMIENTOS

Esta práctica industrial fue posible gracias a la Escuela de Ingeniería Química y a la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL S.A.

A todos los miembros de ATP, por su oportuna colaboración. Especialmente al Ing. Nelson Angulo Pedrozo por su enseñanza y dedicación como tutor de la práctica.

A los operadores de la Unidad de Balance por su colaboración.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, dieron su aporte para llevar a feliz termino este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS TEÓRICOS	2
1.1 SISTEMAS DE RELEVO DE PRESIÓN	2
1.2 VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN CONVENCIONALES	2
1.3 VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN BALANCEADAS	2
1.4 VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN PILOTEADAS	2
2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO	3
2.1 CONOCIMIENTO DE LAS ÁREAS Y CAPACITACIÓN SOBRE SISTEMAS DE RELEVOS Y TEAS	3
2.2 REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE	4
2.2.1 Válvulas de seguridad	4
2.2.2 Isométricos	5
2.3 REVISIÓN DE LAS CONTINGENCIAS Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REAL.	5
2.4 REVISIÓN HIDRÁULICA Y DETERMINACIÓN DE LIMITACIONES	6
3. RESULTADOS OBTENIDOS	7
3.1 ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE	7
3.1.1 Actualización de las válvulas de seguridad	7
3.1.2 Actualización de los planos de líneas principales y derivadas	8
3.2 REVISIÓN DE LAS CONTINGENCIAS Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REAL	9
3.3 REVISIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA	10
3.3.1 Determinación de la contingencia gobernante del sistema	11
3.3.2 Estudio hidráulico del sistema	14
CONCLUSIONES	17
BIBLIOGRAFÍA	18
ANEXO A. PROCEDIMIENTO CÁLCULO DE FLUJOS MÁSCOS DE RELEVO	20

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1. Revisión presión de disparo válvulas de seguridad	7
Tabla N° 2. Listado de planos de líneas actualizados en el Bloque I	8
Tabla N° 3. Listado de planos de líneas actualizados en el Bloque IV	8
Tabla N° 4. Listado de planos de líneas actualizados de la tubería principal	9
Tabla N° 5 Flujos máxicos de relevo según su falla gobernante	9
Tabla N° 6 Flujos relevados, contrapresiones y áreas calculadas por la simulación para las válvulas bajo la falla gobernante del sistema	16

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Simulación falla gobernante de la Unidad de Balance	15

RESUMEN

TITULO: REVISIÓN HIDRÁULICA Y ACTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RELEVO DE LA TEA N° 6, UNIDAD DE BALANCE GERENCIA DE REFINACIÓN BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A.)

AUTOR: CAMILO ANDRÉS MENA GALVIS^{**}

PALABRAS CLAVES: Sistemas de relevo, tea, válvulas de seguridad

Se comprobó la falla gobernante de agua de enfriamiento del sistema de relevo de la tea de la unidad de Balance, por medio de la metodología planteada para el análisis de contingencias con base en las normas API 520 y API 521.

Como complemento, se hicieron algunas investigaciones para verificar la probabilidad de esta falla y se encontró que las cuatro bombas de agua de enfriamiento que se necesitan en servicio normal para la unidad son accionadas por motor eléctrico y no como lo sugiere la filosofía de diseño de UOP, que tres bombas sean accionadas por motor eléctrico y una accionada con turbina a vapor. Conociendo el alto riesgo de la falla y siendo esta la más crítica, fue necesario hacer una revisión hidráulica de las líneas hacia la tea 6 con la ayuda del simulador INPLANT

Los resultados de la simulación muestran que los porcentajes de contrapresión a la salida de cada una de las válvulas involucradas, se encuentran dentro de los límites permisibles por la norma API 520, además las áreas de flujo de las válvulas calculadas por la simulación son menores a las que se encuentran actualmente instaladas y la capacidad total de relevo se ajusta a la capacidad de diseño de la tea, por lo tanto estos sistemas de relevo podrían relevar toda la carga durante la falla gobernante.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.
Prof. Álvaro Ramírez García.

ABSTRACT

TITLE: HYDRAULICS REVISIONS AND UPDATES OF THE RELIEF SYSTEMS OF THE TEA No. 6, UNIT BALANCE GERENCIA DE REFINACIÓN BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A.)*

AUTHOR: CAMILO ANDRÉS MENA GALVIS**

KEYWORDS: Relief systems, tea, safety valve.

The governing failure of water cooling of the relief system from the tea of the unit balance was studied, through the proposed methodology for the analysis of contingencies based on the standard API 520 and 521.

As a complement, investigations were made to verify the probability of this failure and found that the four cooling water pumps that are needed in normal service for the unit are driven by electric motor and not as suggested by the design philosophy of UOP, Three pumps are driven by electric motor and a steam turbine operated. Knowing the high risk of failure and this being the most criticism, it was necessary to review hydraulic lines to tea with the help of simulator INPLANT.

The simulation results show that the percentages back pressure at the exit of each of the valves involved, are within the permissible limits by the standard API 520, besides areas flow valves computed by simulation are lower which are currently installed and the total capacity relief set to the design capabilities of the tea, therefore these relief systems could relieve all the flow mass during the governing failure.

* Final studies work report.

** Physical-Chemistry Engineering Faculty. Chemical Engineering School.
Prof. Álvaro Ramírez García.

INTRODUCCIÓN

La seguridad del personal y de los equipos de una refinería o planta petroquímica, depende del diseño y funcionamiento de los sistemas de relevo como son las válvulas de seguridad

Para asegurar la confiabilidad de dichos sistemas de relevo se plasmaron el desarrollo de tres objetivos enfocados a obtener resultados entorno a la revisión hidráulica y actualización de los sistemas de relevo de la tea N° 6, correspondiente a la unidad de Balance de la Gerencia de Refinación de Barrancabermeja (ECOPETROL S.A).

El trabajo se realizó utilizando la información existente en varias fuentes: los manuales del fabricante ubicados en el Centro de Información Técnica (CIT) y en cada una de las plantas, los planos disponibles en el Archivo Técnico y la información actual en campo. Esta información fue utilizada para la actualización de los datos correspondientes a las válvulas y planos de las tuberías a las cuales están unidas estas válvulas.

Posteriormente se evaluaron las capacidades de relevo de cada uno de los equipos aportantes al sistema durante la falla gobernante mediante el análisis de contingencias, con el fin de determinar la falla particular para cada equipo y la falla gobernante para el sistema.

Finalmente, utilizando como herramienta de simulación el programa INPLANT (circuitos hidráulicos y teas), se realizó la revisión hidráulica del sistema, determinando sus limitaciones y planteando alternativas para solucionarlas.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1 SISTEMAS DE RELEVO DE PRESIÓN: Dispositivos que actúan por la presión interna a la entrada de ellos y diseñados para abrir durante una emergencia o condiciones anormales del sistema para prevenir un incremento de la presión del fluido que exceda un valor específico de diseño del equipo que protege, ej. (Válvulas de seguridad).

1.2 VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN CONVENCIONALES: Son aquellas cuyas características operacionales se ven afectadas por cambios en la contrapresión (back pressure).

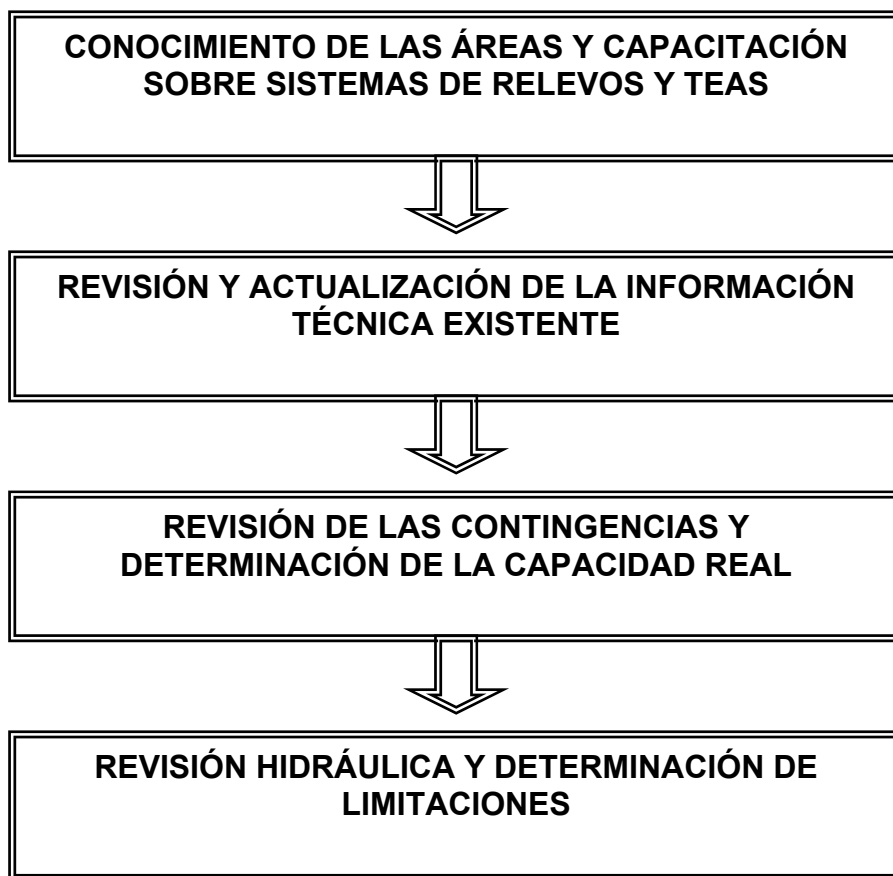
1.3 VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN BALANCEADAS: Válvulas que incorporan un fuelle u otro dispositivo para minimizar el efecto de contra-presión sobre las características operacionales de la válvula.

1.4 VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN PILOTEADAS: Válvulas en las cuales el mayor dispositivo de relevo (ó válvula principal) es combinada con otra válvula auxiliar de relevo de presión (piloto) que actúa y controla automáticamente.

1.5 PRESION DE DISPARO Ó SET PRESSURE: Es la presión indicadora a la entrada a la cual el dispositivo de relevo de presión es ajustado para abrir bajo condiciones de servicio.

1.6 CONTRA-PRESIÓN Ó BACK-PRESSURE: Es la presión que existe a la salida de un dispositivo de relevo de presión como un resultado de la presión en la descarga del sistema.

2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO



2.1 CONOCIMIENTO DE LAS ÁREAS Y CAPACITACIÓN SOBRE SISTEMAS DE RELEVOS Y TEAS

Este objetivo se desarrolló utilizando las fuentes bibliográficas de la Empresa, el Centro de Información Técnica (CIT), diferentes documentos encontrados, manuales de operación de las plantas de la unidad de Balance y visitas de reconocimiento. La bibliografía utilizada se referencia al final del trabajo.

2.2 REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE

Esta actualización se hizo con el fin de renovar el material existente en archivo del cabezal en estudio, las condiciones de los equipos y de las válvulas. De igual forma la actualización de los sumarios de cargas al cabezal y sumario de válvulas con sus respectivas hojas de especificaciones ó diseño (data-sheet). Estos datos fueron consignados en la base de datos de ECOPETROL.

La información recopilada en el desarrollo de este objetivo contribuyó posteriormente al análisis de las contingencias y a la simulación de la falla gobernante del sistema.

La metodología utilizada para el desarrollo de este objetivo fue la siguiente:

2.2.1 Válvulas de seguridad:

1. Se buscó el listado de las válvulas que descargan al cabezal en estudio según la falla gobernante, en la base de datos de ECOPETROL.
2. Se ubicaron con la ayuda de planos (que se encuentran en el CIT y en el Archivo Técnico), los equipos que descargan a la tea durante la contingencia, con su respectiva válvula.
3. Se buscaron las hojas de especificaciones de las válvulas de alivio, de los equipos aportantes y el sumario de las cargas de relevo de las válvulas que descargan a la tubería en estudio en los manuales del fabricante de las plantas.
4. Con los tres registros anteriores, se hizo una comparación con la información real, obtenida en campo, haciendo una clasificación de las válvulas y de los equipos que las poseen.

2.2.2 Planos:

Para poder realizar una búsqueda de los planos de las líneas de tuberías y de los equipos que descargan a éste, fue necesario conocer por lo menos la identificación de las líneas y de cada una de las uniones que a éste llegan, el procedimiento fue el siguiente:

1. Se hace una búsqueda de los planos de la tubería que contenga la identificación de las líneas.
2. Se identifica el número de las líneas de descarga de cada uno de los equipos que relevan, para poder ubicar su correspondiente plano.
3. Se buscan los correspondientes planos en el Archivo Técnico de la Empresa.

2.3 REVISIÓN DE LAS CONTINGENCIAS Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REAL.

Se calcularon y verificaron, para diferentes contingencias, las capacidades reales de relevo de los equipos aportantes, determinando la contingencia del sistema.

La metodología utilizada y las consideraciones hechas para el análisis de contingencias, se hicieron con base en las normas API 520 Y 521 y a los procedimientos definidos por UOP para este tipo de cálculo, libros y memorias de cálculo de la renovación de la unidad catalítica Orthoflow. El resumen de esta metodología, como resultado de la conceptualización hecha en el desarrollo del primer objetivo, se presenta en la sección de Anexos.

2.4 REVISIÓN HIDRÁULICA Y DETERMINACIÓN DE LIMITACIONES

Se simuló el recorrido de las líneas actuales con sus respectivas cargas, para la contingencia gobernante del sistema y se analizaron las condiciones de diseño actual de las válvulas y la tea.

Para la revisión hidráulica del cabezal y la capacidad de las válvulas, se utilizó como herramienta el INPLANT, la metodología implementada y los datos necesarios fueron:

- Dimensiones de las líneas principales y de las tuberías que conectan la válvula de seguridad a dicho cabezal.
- Análisis de la contingencia gobernante para el sistema, que permite determinar la capacidad para la cual debe estar diseñada la línea de tubería de la tea.
- Flujos máxicos a relevar por cada uno de los equipos que intervienen en la contingencia gobernante del sistema.
- Composición, presión y temperatura de los flujos de cada uno de los equipos involucrados en la falla analizada a condiciones de relevo.

Con estos datos se construyó el modelo y se simuló la falla gobernante del sistema. Esta simulación permitió determinar cuales válvulas presentaban limitaciones debido a contrapresiones que superaban el porcentaje seguro de acuerdo al tipo de válvula instalado.

La revisión de la capacidad de las válvulas se hace utilizando la opción de dimensionamiento de válvulas que trae el INPLANT.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE

La actualización de la información técnica se hizo de la siguiente manera:

3.1.1 Actualización de las válvulas de seguridad

Con la ayuda de los P&ID (Process and Instrumentation Diagrams) se buscaron en planta las válvulas de seguridad que descargan a la tea durante la contingencia gobernante, verificando su información disponible en la placa de mantenimiento con su respectiva hoja de diseño.

Tabla N° 1. Revisión presión de disparo válvulas de seguridad

Válvula	Presión de disparo Actual (Psig)	Presión de disparo Diseño (Psig)
V1T2501	325	325
V1D2506	315	315
V1T2801	100	100
V2T2801	110	110
V1T2701	41	41
V2T2701	38	38
V3T2701	41	41
V4T2701	39	39
V5T2701	40	40
V1D2705	35	35
V2D2705	35	35

3.1.2 Actualización de los planos de las líneas principales y derivadas del sistema.

A continuación se presenta el listado de los planos actualizados:

Tabla N° 2. Listado de planos actualizados en el Bloque I

NOMENCLATURA PLANOS	UBICACIÓN
2V-D2-F-750	Tubería Demex
2V-D2-F-477	Tubería Demex
2P-D2-F-386	Tubería Demex
2P-D2-F-260	Tramo que conecta V1T2501 con tubería Demex
2P-D2-F-265	Tramo que conecta V1D2505 con tubería Demex
2V-D2-F-751	Tubería Viscorreductora II
2V-D2-F-479	Tubería Viscorreductora II
2P-D2-F-388	Tubería Viscorreductora II
2V-D2-F-375	Tramo que conecta V1T2801 con tubería Viscorreductora II
2V-D2-F-379	Tramo que conecta V2T2801 con tubería Viscorreductora II

Tabla N° 3. Listado de planos actualizados en el Bloque IV

NOMENCLATURA PLANOS	UBICACIÓN
2T-D2-F-1592	Tubería UOP-I
2T-D2-F-1315	Tubería UOP-I
2T-D2-F-630	Tubería UOP-I
2T-D2-F-810	Tramo que conecta V-T2701 con tubería UOP-I
2T-D2-F-106	Continuación tramo que conecta V-T2701 con tubería UOP-I
2T-D2-F-806	Tramo que conecta V-D2705 con tubería UOP-I
2T-D2-F-105	Continuación tramo que conecta V-D2705 con tubería UOP-I

Tabla N° 4. Listado de planos actualizados de la línea principal

NOMENCLATURA PLANOS	UBICACIÓN
2V-D2-F-770	Línea principal
2V-D2-F-1127	Línea principal
2T-D2-F-1649	Línea principal
28-D2-F-125	Línea principal
28-D2-F-126	Línea principal
2V-D2-F-752	Tramo que conecta salida del D-2806 con línea principal
2T-D2-F-1593	Tramo que conecta salida del D-2712 con línea principal

3.2 REVISIÓN DE CONTINGENCIAS Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REAL

El análisis se hace con la finalidad de determinar la contingencia gobernante del sistema, las contingencias analizadas son basadas en la norma API 521, (caso fuego, falla energía eléctrica, falla operador (bloqueo válvula), falla agua de enfriamiento, falla aire de instrumentos) enfocado a torres y tambores ya que estos manejan grandes cantidades de masa.

En el anexo A se muestran los procedimientos utilizados para la evaluación de las contingencias, Los resultados que se muestran a continuación pertenecen al caso donde la contingencia originaba el máximo flujo másica de relevo.

Tabla N° 5 Flujos de relevo según su falla gobernante

Equipo	Flujo de relevo calculado (Lb/h)	Flujo de relevo según hoja diseño (Lb/h)	Falla Gobernante
T-2501	343500	356000	Agua de enfriamiento
T-2701	622425	719900	Agua de enfriamiento
T-2801	130125	164000	Agua de enfriamiento

Las válvulas de las torres T-2501, T-2701, T-2801 están dimensionadas conservadoramente, dado que los flujos de relevo de diseño están por encima de los flujos de relevo calculados en cada escenario. No existe una forma estándar de calcular los flujos de relevo, ya que dependen en gran medida de los criterios o premisas utilizados por cada diseñador.

3.3 REVISIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA

3.3.1 Determinación de la contingencia gobernante del sistema

Para la determinación de la contingencia gobernante en la Unidad de Balance, se tomaron como base los estudios realizados con anterioridad además de tener en cuenta las condiciones actuales de operación de las plantas, tanto a nivel de servicios como a nivel de proceso.

Los estudios revisados fueron:

- Informe Final para Ecopetrol del estudio de la tea de Balance en Barrancabermeja, realizado por Foster Wheeler, julio de 1990
- Estudio de la tea de las unidades de proceso Demex y Viscorreductora II de UOP para Ecopetrol, Refinería de Barrancabermeja, Agosto 1991
- Evaluación de la contingencia Falla agua de enfriamiento, Ecopetrol. Octubre 1991.

Los hallazgos encontrados en el informe de Foster Wheeler eran que en caso de una falla de agua de enfriamiento en la torre T-2501 y en el tambor D-2505 (tambor de solvente de alta presión) se generaría una carga de relevo a la Tea de 1'680.000 libras por hora. Las otras emergencias en este tambor y en otra parte de la unidad implicarían

cargas de relevo inferiores. Las eventualidades principales serían bloqueo en la salida del tambor, incendio y falla de energía eléctrica. La conclusión a la que Foster Wheeler llegó, fue que se requería una tea nueva ya que esta fue diseñada para 1'000.000 libras por hora.

El trabajo de UOP involucró la revisión de sus cálculos iniciales los cuales no estaban disponibles en la refinería. Este trabajo se concentró en dos casos, falla de agua de enfriamiento y falla de energía eléctrica, que según UOP ocasionan la sobrepresión que tendría el efecto más grande sobre el diseño original de la tea. En el trabajo se consideró la eventualidad de pérdida total en el agua de enfriamiento suministrada al tambor de solvente de alta presión y le dio crédito a la intervención del operador en la emergencia. La carga máxima de relevo calculada para la torre T-2501 era 395000 libras por hora. Esta es 10 % más alta que la reportada en el diseño original; concluyéndose que la capacidad de la tea cumplía con los requerimientos de relevo esperados.

El estudio efectuado por ECOPETROL afirmó que el informe de Foster Wheeler no dio crédito al corte de calentamiento de la unidad previsto en el diseño original de la UOP. Este diseño previó un corte en el suministro de vapor a los evaporadores de solvente desde un interruptor de alta presión ubicado en el tambor D-2505.

Se concluyó que la única forma de permanecer dentro de las condiciones de diseño del sistema de la tea era encerrar bajo un corte todas las fuentes de vapor a la planta. Para darle mayor confiabilidad a dicho corte se recomendó un sistema de protección de alta integridad (HIPS).

En vista de las múltiples conclusiones a las cuales se llegó con respecto a la seguridad de la Unidad de Balance, la empresa Resource Protection fue invitada a revisar todos los informes mencionados como parte de un trabajo que involucraba las unidades Demex y Viscosreductora II.

Después de un análisis profundo Resource Protection llegó a las siguientes conclusiones:

El enfoque usado en el informe de Foster Wheeler es conservador, y está basado estrictamente sobre códigos API permitidos y no da crédito para los factores mitigadores.

El trabajo de UOP da la información limitada, pero dan crédito a la existencia de un dispositivo de disparo que reduce la masa a relevar a la tea en los casos considerados.

El informe que ECOPETROL realizó da una evaluación detallada de las consecuencias más evidentes para la mayoría de los casos que contemplan una falla en el agua de enfriamiento. El fin del análisis era determinar si las suposiciones del diseño original de UOP podían ser un buen soporte al considerar los relevos a la tea existente. El análisis se detalla y no se encontró una falla que pudiera considerarse lógica y que se presentara. Resource Protection concuerda con la conclusión de este informe, y no tiene confianza sobre que un disparo de las válvulas de seguridad existentes en este diseño pudiera ser adecuadamente relevado por la tea existente, a menos que fuera complementado por un sistema de alta integridad HIPS.

A raíz del estudio realizado por Resource Protection con base en los estudios mencionados con anterioridad se decidió implementar el sistema HIPS. De esta forma se dio crédito tanto al estudio realizado por ECOPETROL como al realizado por UOP en los cuales dicho sistema de corte debe actuar para no poner en riesgo la seguridad de la Unidad de Balance.

Con base en el estudio realizado, teniendo en cuenta las condiciones actuales de operación de las plantas, tanto a nivel de servicios como a nivel de proceso, se acepta que para el caso de diseño los cálculos de carga a relevar deben comenzar con la suposición de una falla total en el agua de enfriamiento. Sin embargo como complemento, se hicieron algunas investigaciones para verificar la probabilidad de una falla total en el suministro de agua de enfriamiento.

Actualmente se cuenta con seis (6) bombas de agua de enfriamiento de las cuales cuatro (4) se necesitan en servicio normal. Cuatro son bombas accionadas con motor eléctrico y dos son accionadas con turbina.

Según la filosofía del diseño realizado por UOP, debería ser práctica usual que como mínimo opere una bomba accionada con turbina y las tres restantes fueran accionadas con motor eléctrico de tal forma que solo se presentara falla total de agua de enfriamiento, si y solo si, además de la falla eléctrica se presentara falla total de vapor.

El vapor viene desde cinco calderas. Las cinco calderas se alimentan desde un múltiple abastecimiento de agua con seis bombas. Todas seis normalmente en operación. Tres son eléctricas y tres son conducidas con turbina de vapor. Los sopladores en el horno son tres eléctricos y dos conducidos por turbina.

La energía para la planta se deriva desde las calderas de vapor. Hay un abastecimiento alterno de energía desde la refinería principal por medio del anillo de interconexión (con un tiempo de reacción de 20 minutos). Así, si el vapor falla completamente (esto ha sucedido) entonces es posible todavía con la energía de la refinería operar tres bombas de agua de enfriamiento. Si, es el vapor de las turbinas que abastece la energía a las bombas de agua de enfriamiento el que falla entonces no habrá pérdida de las cuatro bombas si el abastecimiento de energía de la refinería continúa trabajando. Si esto fracasa entonces todavía se tendrá disponible por lo menos una bomba conducida por turbina, por lo tanto una falla total de agua de enfriamiento es un suceso muy poco probable, siempre y cuando se conserve la filosofía del diseño original realizado por UOP.

Otra forma para que haya falla de agua de enfriamiento sería que los cabezales de distribución del agua de enfriamiento se rompan y la presión baje a menos de 40 psi.

Bajo las condiciones actuales de operación, se puede concluir que la Unidad de Balance presenta una situación de alto riesgo, puesto que primeramente no se está

siguiendo la filosofía del diseño original de UOP, ya que las bombas que actualmente trabajan en la torre enfriadora son todas eléctricas, además las dos bombas accionadas por turbina no tienen un sistema de arranque automático confiable.

Con el análisis hecho anteriormente, puede inferirse, con base en la cantidad de masa relevada y en la factibilidad de ocurrencia de una determinada falla, que la falla gobernante para el sistema es la falla de energía eléctrica con pérdida en el suministro de agua de enfriamiento, la cual puede tomarse como el caso máximo de diseño como fue definido por UOP, Foster Wheeler y ECOPETROL en cada uno de sus estudios respectivos.

La falla de energía con pérdida de agua de enfriamiento ocasionaría el relevo de 5 equipos, torres y tambores separadores a las cuales les fallaría su sistema de condensación de cima. Debido a la cantidad de masa a relevar bajo esta emergencia, se considera que la falla eléctrica con pérdida de agua de enfriamiento es la emergencia más crítica, y es la que establece la capacidad sobre la cual debe hacerse la revisión hidráulica del cabezal.

3.3.2 Estudio hidráulico del sistema.

Identificado el relevo ocasionado por la contingencia evaluada anteriormente, se construyó el modelo de forma tal que proporcionara las presiones generadas en las líneas principales y las derivadas en el momento de la falla, determinando de esta forma las limitaciones del sistema. Estas limitaciones pueden ser debido al subdimensionamiento de las líneas que genera altas caídas de presión y disminuye la capacidad de las válvulas debido a las altas contrapresiones en su salida; y/o limitaciones en la tea por alto nivel de flujo relevado.

Se simuló la falla gobernante de agua de enfriamiento para la unidad de Balance con el simulador INPLANT con base en los datos anteriores y con ayuda de los planos de las líneas de la tubería principal. Los resultados se muestran en la tabla N° 5.

La siguiente figura muestra el esquema de la simulación de los equipos aportantes al sistema de relevo de la tea N° 6 de la unidad de Balance.

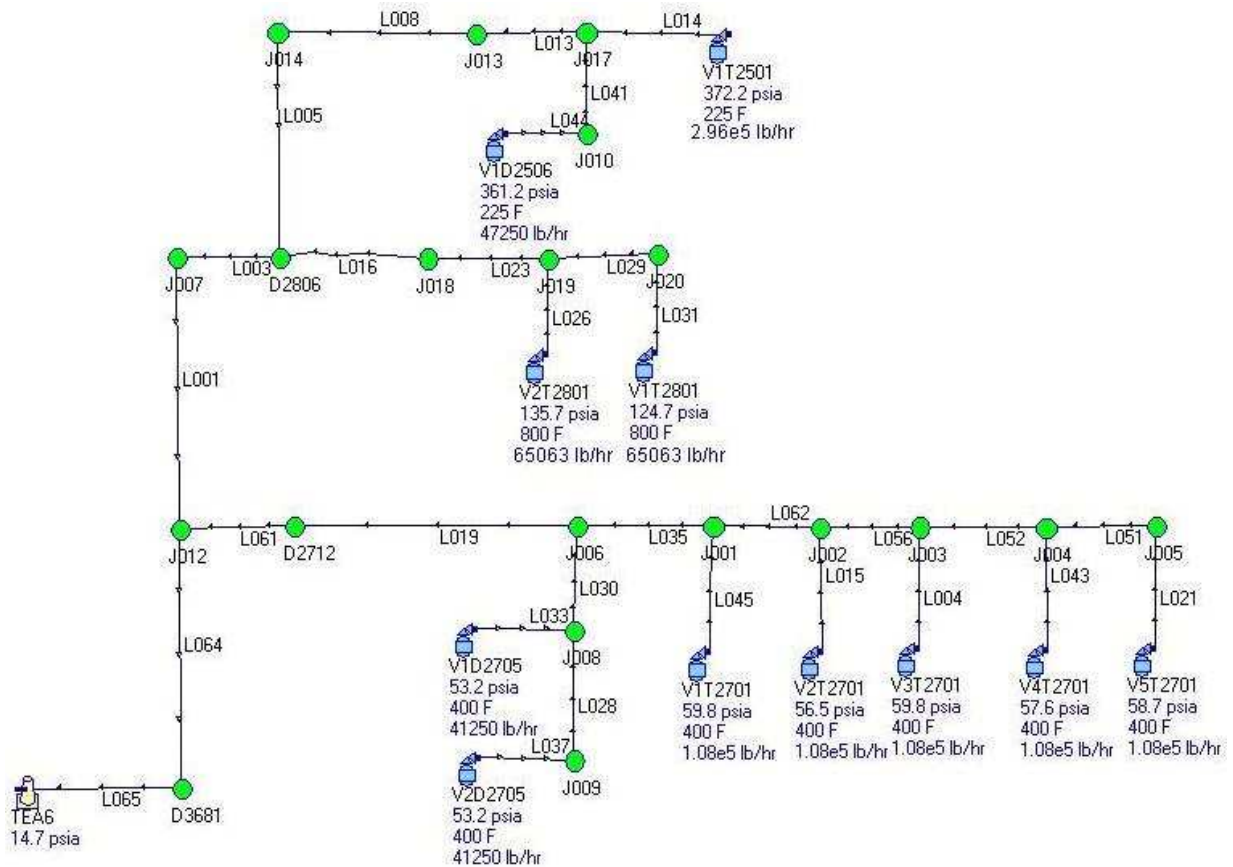


Figura 1. Simulación falla gobernante de la Unidad de Balance

Tabla 6. Flujos relevados, contrapresiones y áreas calculadas por la simulación para las válvulas bajo la falla gobernante del sistema.

Válvula	Equipo	Masa relevada (Lb/h)	Presión disparo (Psig)	%Contra presión	Tipo de válvula instalada	Área Calculada (pulg ²)	Área Actual (pulg ²)
V1T2501	T-2501	296250	325	11.01	Balanceada	7.45	16
V1D2506	D2506	47250	315	11.11	Balanceada	1.023	4.2
V1T2801	T-2801	65062.5	100	43.00	Balanceada	19.63	23.6
V2T2801	T-2801	65062.5	110	35.82	Balanceada	18.03	23.6
V1T2701	T-2701	107985	41	75.60	Piloteada	21.55	36.4
V2T2701	T-2701	107985	38	76.80	Piloteada	25.36	36.4
V3T2701	T-2701	107985	41	72.68	Piloteada	23.06	36.4
V4T2701	T-2701	107985	39	76.92	Piloteada	24.83	36.4
V5T2701	T-2701	107985	40	75.00	Piloteada	23.95	36.4
V1D2705	D-2705	41250	35	54.80	Balanceada	9.31	17.42
V2D2705	D-2705	41250	35	54.80	Balanceada	9.31	17.42
	TOTAL	1096050					

Los porcentajes de contrapresiones con los cuales se determina, si la presión a la salida de la válvula esta dentro de los límites de seguridad, son los manejados según las normas API 520, un 10% para el caso de válvulas convencionales, un 10-60 % para el caso de válvulas balanceadas, y un 60-100% para el caso de válvulas piloteadas. Como se puede observar por la tabla anterior, los porcentajes de contrapresión a la salida de cada una de las válvulas involucradas, se encuentran dentro de los límites permisibles, además las áreas de flujo de las válvulas calculadas por la simulación son menores a las que se encuentran actualmente instaladas y la capacidad total de relevo se ajusta a la capacidad de diseño de la tea No 6 (1,095 vs 1,000 KLb/hr) por lo tanto estos sistemas de relevo podrían relevar toda la carga durante la falla gobernante.

CONCLUSIONES

1. La simulación de la falla gobernante de agua de enfriamiento para la unidad de Balance corroboró que la capacidad de relevo se ajusta a la capacidad de diseño de la tea No 6 y que las válvulas instaladas cumplen con los requerimientos de las normas API 520.
2. La filosofía de operación recomendada por UOP estableció que al menos 1 bomba de agua de enfriamiento accionada con turbina (deseable 2) debería estar operando. Esta condición no se cumple en la actualidad, tampoco un arranque automático de las turbinas cuando se presente falla en las bombas accionadas por motor.

RECOMENDACION

Utilizar la metodología planteada en este trabajo para el cálculo de flujos másicos de relevo para actualizar el balance de masa y energía cuando se presente un cambio en la carga a la planta

BIBLIOGRAFIA

1. API RECOMENDED PRACTICE 520. Sizing, Selection, and Installaton of Pressure-Relieving Devices in Refineries. Part I –Sizing and Selection. Part II – Installation. American Petroleum Institute. Seven edition. January 2000.
2. API RECOMENDED PRACTICE 521. Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems. American Petroleum Institute. Fourth edition. March 1997
3. EXXON DESING PRACTICES. Safety in Plant Design. Research and Engineering Company. March 1982.
4. UOP TECHNOLOGY TRAINING. Introduction to Process Design. Ecopetrol. Colombia. Junio 1996.
5. Revisión Hidráulica y Actualización de la documentación técnica del sistema de la tea 6. Henry A. Montoya M. Practica Industrial. Ecopetrol. Diciembre 1999.
6. Revisión del sistema de Relevo de las Unidades Demex y Viscosreductora II. Resource Protection. Ecopetrol. Julio 1994.
7. SIMSCI. Simulation Sciences Inc. IMPLANT. Input Manual. Version 3.0. USA 1994.
8. Project Specification. UOP DEMEX PROCESS UNIT FOR EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS. Colombia.
9. Project Specification. UOP FLUID CATALYTIC CRACKING PROCESS UNIT FOR EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS. Colombia

10. Project Specification. UOP GAS CONCENTRATION PROCESS UNIT FOR EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS. Colombia
11. Final Report ECOPETROL Flare Study. Foster Wheeler USA Corporation. Barrancabermeja, Colombia. Julio 1990.
12. JOYA, Luis A. Análisis Sistema de Seguridad Planta Demex. Roma. Octubre 1991.
13. Flare Study of UOP Demex and Visbreaking Process Units for ECOPETROL Barrancabermeja Refinery. UOP Engineering Department. August, 1991.
14. Revisión del Sistema de Relevos de las unidades Demex y Viscosreductora II. Resource Protection. ECOPETROL. Julio 1994.

ANEXO A

PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE FLUJOS MÁSCOS DE RELEVO

Se realizó un procedimiento basados en la norma API 521, para el cálculo de flujos máscos de relevo según la fuente de sobrepresión (caso fuego, falla energía eléctrica, falla operador (bloqueo válvula), falla agua de enfriamiento, falla aire de instrumentos) enfocado a torres y tambores ya que estos manejan grandes cantidades de masa:

A. Caso exposición al fuego

1. Determinar la presión de relevo (psia), según la norma API 520 Part 1, es el 121% de la presión de disparo de la válvula.
2. A la presión de relevo determinar el calor latente de vaporización (BTU/Lb)
3. Calcular el área interna húmeda (A_w), tomar el área húmeda igual o menor a una altura de 25 ft sobre el nivel del piso o plataforma de donde pueda haber un pool de combustible (API 521).
 - Para torres asumir que el inventario de líquido en los platos, se drena a los fondos y que cada plato contiene dos (2) pulgadas de líquido, se incluye el área de la tapa del fondo de la torre

Nivel de líquido h (ft) = Nivel normal de líquido en la torre + $(2/12) \cdot N^{\circ} \text{platos}$

A_w (ft) = $1.089 \cdot (d_{int})^2 + \pi \cdot d_{int} \cdot h$; d_{int} : diámetro interno de la torre (ft)

- Para tambores asumir que el inventario de líquido está por la mitad, se incluye las dos mitades de las tapas del tambor.

$$A_w \text{ (ft)} = 1.089 \cdot (d_{\text{int}})^2 + \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \pi \cdot d_{\text{int}} \cdot L \quad L: \text{ Longitud del tambor (ft)}$$

4. Calcular el calor que entra al área húmeda:

$$Q = 21000 \cdot F \cdot A^{0.82}$$

Si no existe adecuado drenaje y equipo contrafuego la siguiente ecuación deberá ser usada.

$$Q = 34500 \cdot F \cdot A^{0.82}$$

Donde,

Q= BTU/h

A= área húmeda total en ft²

F= factor según aislamiento del equipo

	F
No insulation	1.0
Insulation thickness 25 mm and greater *	0.3
Heating or cooling jacket	0.6
Mounded storage (excl. fire exposed part)	0.0 3
Underground storage	0.0

5. El flujo másico de relevo (Lb/h) será =

Calor total de entrada (BTU/h) / Calor latente de vaporización (BTU/lb)

B. Caso falla operador – Bloqueo válvula

Suposiciones:

- Válvulas de bloqueo a la entrada y/o salida del condensador de cima son cerradas accidentalmente
- La norma API 521 sección 3, considera que puede haber reducción de la rata de relevo como el resultado de que la presión de relevo está por encima de la presión de operación.
- Todas las demás corrientes y operaciones están normales
- La tubería de los condensadores de cima se llenarán con líquido
- El flujo másico de relevo será igual a la rata normal de vapor de cima del equipo

Procedimiento:

1. Calcular el flujo de vapor que sale del último plato de la torre.
2. Calcular el flujo másico de relevo:

$$W_{rel} \text{ (lb/h)} = \text{flujo de vapor ultimo plato}$$

C. Caso falla energía eléctrica**Suposiciones:**

Todas las bombas alrededor del equipo en estudio se apagarán (pumparound, reflujo), se inundarán los tambores de cima y los condensadores y se bloqueará la salida de vapor a la succión del compresor (si existe).

Procedimiento:

1. Determinar la presión de relevo (psia), según la norma API 520 Part 1 es el 110% de la presión de disparo de la válvula.

2. A la presión de relevo determinar el calor latente de vaporización (BTU/Lb)
3. Calcular el calor suministrado por el rehervidor, UOP considera un 75% del calor normal en las condiciones de relevo.

$$Q_{rel} = 0.75 * Q_{nor}$$

4. Determinar el flujo másico de vaporización W_{vap} (Lb/h):

$$W_{vap} = Q_{rel} / \text{Calor latente de vaporización}$$

5. Calcular el calor removido por el condensador, UOP considera un 20 % del calor normal en las condiciones de relevo

$$Q_{rel} = 0.20 * Q_{nor}$$

6. Determinar el flujo másico de condensación W_{cond} (Lb/h):

$$W_{cond} = Q_{rel} / \text{Calor latente de vaporización}$$

7. Determinar el flujo másico de relevo (Lb/h):

$$W_{rel} = W_{vap} - W_{cond}$$

D. Caso falla agua de enfriamiento

Suposiciones:

- La norma API 521 sección 3, considera que puede haber reducción de el flujo másico de relevo como el resultado de que la presión de relevo está por encima de la presión de operación.
- Se pierde toda el agua de enfriamiento. Solo los intercambiadores que usen agua de enfriamiento tendrán algún efecto en la rata de relevo.
- La capacidad del tambor de cima de mantener el nivel normal de líquido es generalmente limitada a menos de 10 min (API 521). Si la falla de agua de

enfriamiento excede este tiempo, se pierde el reflujo y el flujo másico de relevo puede cambiar significativamente.

- Perdidas de los intercambiadores que utilicen agua de enfriamiento en los pumparound afectaran el flujo másico de relevo al aumentar el flujo másico normal que sale de la cima de la torre.

Procedimiento:

1. Calcular el flujo de vapor que sale del último plato de la torre
2. Calcular el vapor adicional por la pérdida de los intercambiadores de los pumparound. El vapor adicional será igual al calor agregado por la pérdida de enfriamiento del intercambiador (Calor según datasheet) dividido por el calor latente de vaporización en esa corriente.
3. Comprobar si existen otros intercambiadores de calor en la cima que no trabajen con agua de enfriamiento o si existen ventiladores. Calcular sus ratas normales de condensación.
4. Comprobar si existe un compresor que no tenga condensador de superficie con agua de enfriamiento ya que estos se apagarían si una eventual falla de agua de enfriamiento ocurre.
5. Calcular el flujo másico de relevo:

$$\mathbf{W_{rel}} = \text{flujo de vapor ultimo plato} + \text{flujo de vapor adicional} - \text{flujo condensado por otros intercambiadores} - \text{succión compresor}$$

E. Caso falla aire de instrumentos

Suposiciones:

- La mayoría de las válvulas de control cierran para la peor situación posible
- Todas las válvulas de los pumparound y del reflujo tienen falla abierta

- No sale líquido por los tambores de cima porque las válvulas tienen falla cerrada, así que los tambores se inundarán con los condensadores de cima, se bloqueará la salida de vapor a la succión del compresor (si existe).

Procedimiento:

1. Calcular el flujo de vapor que sale del último plato de la torre.
2. Calcular el flujo másico de relevo:

Wrel (lb/h) = flujo de vapor ultimo plato