

Malfuncionamiento de una Columna de Destilación Detección, Análisis y Solución

Luis A. Ayarza R., Jesús M. Zamudio A. PLUSPETROL Perú Corporation SA

Resumen.

Mucho se ha escrito acerca de malfuncionamiento en Columnas de Destilación; literatura de los autores Norman Lieberman ("Troubleshooting Process Operation") y Henry Kister ("Distillation Operation"), son de consulta obligatoria de los Ingenieros de Proceso, cuando se trata de entender y solucionar problemas.

Sin embargo, a pesar de la "luz" que nos puedan dar estos magníficos textos, es preponderante que el Ingeniero de Procesos conozca la Operación, para lo cual un elemento valioso para encontrar la causa de un problema, es la denominada "Corrida de Prueba". Esta corrida, convenientemente planificada con el personal de operaciones, mantenimiento y laboratorio, dará la información base para analizar a profundidad el desempeño de la Unidad.

Posteriormente, usando herramientas como los Simuladores de Proceso y los Simuladores de los mismos fabricantes de Internos de Columnas, se buscará replicar la Operación Real con la Operación Simulada. La información de la hidráulica interna de la Columna de Destilación es una información importante que obtenida del Simulador de Proceso, permitirá comprobar y verificar que el diseño de los internos (platos, distribuidores, colectores, boquillas, empaques etc) no ofrecen limitaciones de capacidad (medido por la inundación principalmente). En paralelo, el diseñador de los internos verificará que su diseño haya sido el adecuado, evaluándolo inclusive con el sobrediseño prefijado.

Otras oportunidades para la detección del problema pueden presentarse, como es el aprovechar una Parada de Planta, lo cual permitiría la inspección interna de la columna y la confrontación de los planos de diseño de los internos contra lo que realmente está instalado. Pruebas sencillas, como las de hermeticidad de platos, pueden llevarse a cabo.

En el caso particular de este Trabajo Técnico, prácticamente todas las instancias antes mencionadas fueron corroboradas para identificar la causa del problema de falta de capacidad de procesamiento en la Columna Debutanizadora, incluyendo técnicas como el Escaneo Gammagráfico, aunque debemos aclarar que hubieron factores que demoraron la detección y solución del problema:

- La no ejecución de la Prueba de Garantía al inicio de la Operación.
- La falta de información de diseño de la hidráulica interna de la columna.
- Las falencias en la etapa constructiva y en el precomisionado
- Mantener la operación normal de la Planta escasamente al 70% de la capacidad de diseño, lo que "ocultaba" el problema a cargas mayores.

En este trabajo se detalla como se encontró la superó el malfuncionamiento de la columna debutanizadora y se logró incrementar la máxima carga operativa a la unidad de 43.5 a 51.5 MBPD, con la calidad del butano en especificación.

Introducción.

La Columna de Destilación a la cual se le detectó limitada capacidad de procesamiento pertenece a la Planta de Fraccionamiento de Líquidos de Gas Natural (PFLGN) ubicada en la Costa Sur del Perú. Esta Planta se encarga de procesar los líquidos de gas natural (NGL) que son producidos en una Planta de Gas ubicada a más de 500 Kms de distancia.

El NGL es transportado desde la Planta de Gas hasta la PFLGN por un ducto que atraviesa la Selva, los Andes y finalmente llega a la Costa. La PFLGN fue construida en los años 2002-2003 y puesta en marcha en el año 2004. Su capacidad de diseño de procesamiento de NGL es de 50 MBPD, con un factor de sobrediseño del 10%.

El NGL que llega a la PFLGN es almacenado a presión en una esfera, desde la cual, mediante bombas centrífugas, es enviado a las Unidades de Proceso. Globalmente hablando, el NGL es fraccionado en 4 productos comerciales que los denominamos: propano, butano, nafta y destilado medio. Los 2 primeros son obtenidos en la Unidad de Fraccionamiento; mientras que los otros dos, son obtenidos en la Unidad de Topping, que procesa el residuo pesado saliente de la Unidad de Fraccionamiento.

La Unidad de Fraccionamiento está conformada por una Columna Depropanizadora, de cuya cabeza se obtiene el propano cuyo control de calidad se rige por la Norma Técnica Peruana NTP 321.007. El propano puede ser almacenado a presión y temperatura ambiental o en condiciones de refrigerado y presión atmosférica.

Una segunda columna de fraccionamiento, la Debutanizadora, procesa el residuo de fondo de la columna Depropanizadora; de su cabeza se obtiene butano (realmente una mezcla de n-butano e i-butano), cuyo control de calidad se rige por la Norma Técnica Peruana NTP 321.007. El butano puede ser almacenado a presión y temperatura ambiental o en condiciones refrigeradas y presión atmosférica.

El producto de fondo de esta segunda columna, se denomina "condensado", el cual se envía a almacenamiento, para su posterior alimentación a la Unidad de Topping.

La columna de Topping, se alimenta del tanque de condensado y de su cabeza se obtiene nafta, mientras que de un corte lateral se obtiene un destilado medio, que dependiendo de la necesidad comercial puede salir en especificación de Diesel 2 o no. Del fondo de la columna de topping, el residuo es utilizado como recirculación para que se mezcle completamente con la carga precalentada de condensado antes de que ingresen al horno de topping, donde finalmente se entrega el calor necesario para la destilación.

El destilado medio saliente del corte lateral de la columna, ingresa a un despojador, en el cual se acondiciona principalmente su punto de inflamación. Un sistema posterior de enfriamiento con aire, acondiciona a la nafta y al destilado medio a la temperatura apropiada para su almacenamiento.

En las Figuras 1 y 2, se puede apreciar los diagramas de bloque de la PFLGN.

En la Tabla # 1 se puede ver las condiciones operativas de diseño de las 3 columnas de destilación antes mencionadas.

Tabla # 1

	Columna Depropanizadora	Columna Debutanizadora	Columna de Topping
Caudal, MBSPD	50	32.5	24.5
Presión, psig	250	75	20
Temperaturas, °F			
Tope	127	132	278
Fondo	283	274	495

Nota: caudal reportado sin considerar el sobrediseño.

Si bien es cierto que la PFLGN fue construida para procesar 50 MBSPD de NGL, en realidad por algún tiempo estuvo operando con una carga inferior a 37.5 MBPD, por lo que a esta carga la operación global se desarrolló sin contratiempos ni se evidenciaron cuellos de botella.

En la Figura 3, se muestra el Diagrama General de Procesos (PFD) de la Debutanizadora.

En la Figura 4, se muestra el plano mecánico general de la Columna Debutanizadora.

Desarrollo.

1. Detección del problema.

Con el objetivo de contar con una línea base del comportamiento hidráulico interno de todas las columnas de destilación de la PFLGN y de la Planta de Gas, se decidió contratar los servicios de escaneo gammagráfico a una empresa externa, con probada experiencia en ejecución e interpretación de datos.

La primera vez que se efectuó este ensayo, fue en el año 2005 y se realizó a las 3 columnas de destilación de la PFLGN y a las 6 columnas en la Planta de Gas.

Respecto a la PFLGN y específicamente a la Columna Debutanizadora, puesto que se trata de una columna de platos de 2 pasos, algunos con vertederos laterales y otros con vertedero central, se montaron 2 fuentes/detectores gammagráficos para abarcar convenientemente las zonas de vertederos (lo que se denominan zonas efectivas Este y Oeste).

Aunque el escaneo se realizó con una carga de fraccionamiento de sólo 37000 BPD de NGL y aproximadamente 24 MBPD en la Debutanizadora, su perfil gammagráfico mostró que la zona por debajo de la alimentación (plato # 24, aunque el plato # 22 también puede usarse de alimentación) es decir los platos del 25 al 33, presentaba distintos perfiles y densidades, que demostraba en algunos casos inundación y en otros, signos claros de mala distribución líquido-vapor.

Con respecto a la zona por encima de la alimentación, del plato 1 al 23, presentó densidades y niveles de líquido relativamente uniformes en ambas zonas efectivas. La zona de platos de fondo del 34 al 46, presentaba una operatoria normal sin problemas hidráulicos.

Estos resultados fueron la primera alerta de que pudiera haber problemas de capacidad cuando se requiriese procesar más carga. Sin embargo, parte del problema se atribuyó básicamente a 2 cosas:

- la composición real de la carga tenía más densidad que la usada en el diseño (es decir, había mayor cantidad de hidrocarburos pesados, que en el diseño original). Se calculó que la carga real a Fraccionamiento tenía hasta 2% más de rendimiento volumétrico de condensado que el diseño.
- La operatoria de la columna debutanizadora era a una temperatura de fondo inferior al diseño, de tal manera de incrementar el contenido de butanos en el condensado, y que finalmente éstos salieran enriqueciendo la corriente de nafta de Topping. Esto se justificaba por el hecho de que la especificación de calidad de la nafta aceptaba hasta 7% vol de butanos, y económicamente era conveniente incorporar butanos a la nafta (diferencial de precios de exportación es mayor de la nafta comparado al butano)

Posteriormente, en el año 2007, un nuevo escaneo efectuado a 40000 BPSD de carga a Fraccionamiento, confirmó el problema en la Debutanizadora pero en forma más crítica en la zona de los platos 25 a 33 (debajo plato alimentación); en adición mostró inundación en la zona efectiva Este por encima del plato de alimentación (platos 17 a 23). En la zona de platos de fondo, 34 al 46, no se evidenciaba nada importante.

En esta 2da evaluación, los cambios operativos saltantes respecto a la 1ra evaluación, estaban relacionados al incremento de carga, mayor caudal de reflujo de tope y ligeramente menor presión de operación. Todos estos factores influyeron directamente en el incremento de la criticidad del problema.

Cabe mencionar que la calidad del producto Butano, bajo estas condiciones se mantenía en especificación (contenido de C5+ < 2% mol y presión de vapor @ 100°F < 70 psig). La diferencial de presión global en la columna llegó hasta 7 psi, siendo lo normal (a 37.5 MBPD) de 4.5 psi.

En la Figura 5, se adjunta el reporte comparativo de los escaneos gammagráficos de los años 2005 y 2007.

2. Análisis del Problema.

La Figura 6, resume en concreto el análisis causa-raíz (“espina de pescado”) mostrando las posibles causas al problema hidráulico interno de la columna. La Figura 7, muestra una lista de 31 causas de malfuncionamiento de columnas, tomado del artículo “What caused tower malfunctions in the last 50 years?” por H.Z.Kister, Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE, Vol 81,Part A, January 2003. Como se observa el caso más común de malfuncionamiento es debido a ensuciamiento interno, seguido de cerca por daños de internos y por problemas de reboiler de fondo y su control de nivel.

La urgencia de resolver el problema de la Debutanizadora, se hacía de alta prioridad porque en el futuro cercano, se necesitaría operar la Unidad de Fraccionamiento a su máxima carga (50 MBPD) por lo que esta Columna se presentaba como un “cuello de botella” importante.

Básicamente, las causas probables se circunscribían a 4 principales temas:

1. Diseño de la columna y de sus internos
2. Condiciones Operativas
3. Control de Procesos
4. Construcción e Instalación

En las tablas siguientes se describe la causa, actividades realizadas y hallazgos.

Causa Probable	Actividades Efectuadas	Hallazgos y Resultados
1. Diseño de la columna e internos	Envío de Información gammaográfica de los años 2005 y 2007, a la empresa de Ingeniería que tuvo a su cargo el EPC.	De su interpretación se concluyó que una causa posible es ensuciamiento interno y que se requería la inspección.
	Colección de información técnica sobre diseño hidráulico de los internos de la columna.	- Se obtuvo la información de diseño hidráulico de los platos de la columna al 100% de capacidad original de diseño. - No se encontró información de diseño hidráulico al 110% de capacidad. - En su diseño, la columna fue evaluada en 6 zonas, ninguna de las cuales superó el 80% de “jet flooding”; específicamente la zona de platos 22 a 33, mostró un “jet flood” máximo del 76% con un “downcomer velocity” de 66%. - Aparentemente no había justificación de la inundación por causa de diseño de internos.
	Colección de planos mecánicos de la columna e internos.	Se revisaron los planos mecánicos del fabricante de la columna y del fabricante de los internos.
	Reunión con representantes de la Ingeniería (EPC) mostrando información relevante. De esta reunión se decidió enviarles información de la Corrida de Prueba, para que revisaran	- Se concretó una reunión en USA con un representante de la empresa de Ingeniería (EPC) para que su área de Procesos estudie el caso. - En vista que habían pasado cerca

	sus diseños.	de 3.5 años desde la puesta en marcha, no aplicaba hacer ningún tipo de reclamo de garantía. • Después de efectuada una Corrida de Prueba en Planta (Feb'08), se envió toda la información necesaria para su evaluación. Esta empresa efectuó la Simulación de Procesos de la Columna y remitió esta información al fabricante de internos para que verifique nuevamente el diseño de los mismos.
--	--------------	--

Causa Probable	Actividades Efectuadas	Hallazgos y Resultados
2. Condicion es Operativas	• Ejecución de Corrida de Prueba (Feb'08) a 43.5 MBPD de carga a Fraccionamiento.	• Fraccionamiento deficiente, la relación nC4/iC5 en el producto de fondo es extremadamente alto, 40 a 80% vs 5% de diseño. • Calidad de Butanos al borde máximo de contenido de pentanos. • Alto diferencial de presión de la columna, llegando a valores de 8 psi. • Inversión de temperaturas en la columna: temperatura del plato 39, menor que la temperatura de la carga. • Columna Depropanizadora también con problemas de inundación, lo que agudiza el problema en la columna debutanizadora. • No demostró ningún efecto positivo en el desempeño, el uso de los 2 distribuidores de carga. • El Kettle reboiler muestra valores incoherentes de temperatura entre la fase vapor saliente de este equipo y su correspondiente líquido en equilibrio. Esto se ha confirmado usando termografía.
	• Simulación de procesos de la Planta con datos de la Corrida de Prueba.	• Los datos de condiciones operativas y resultados de calidad de muestras (carga y

		productos) se enviaron a la Ingeniería que efectuó el EPC y obtuvieron una simulación representativa de la Operación. Los datos obtenidos de hidráulica interna de la columna, fue entregada al fabricante de internos para revisión del diseño.
--	--	--

Causa Probable	Actividades Efectuadas	Hallazgos y Resultados
3. Control de Procesos	Evaluación de estado de los lazos de control y confiabilidad de instrumentos. Para esto en el 2007, se había contratado una empresa especializada en Control Avanzado de Procesos, para que haga un relevamiento situacional de la instrumentación y lazos de control	- El control de presión de tope de la columna fue muy inestable. - Dos lazos de control de temperatura que competían entre sí: control de temperatura de tope y control de temperatura de salida de vapores del rehervidor de fondos. - Para solucionar esto, se rompió el control de cascada del lazo de control de temperatura de fondo. - Si bien es cierto, el control no era el mejor, no se podía atribuir la causa de inundación a este factor.

Causa Probable	Actividades Efectuadas	Hallazgos y Resultados
4. Construcción e Instalación	Revisión de carpetas de precomisionado y comisionado, para verificar si se efectuó Inspección Interna especializada antes del cierre de la columna.	- No se encontró evidencia de haberse efectuado la inspección final especializada ni se hallaron reportes de pruebas de hermeticidad en platos. - El hallazgo de la caja de cartón en el plato 35, fue una prueba palpable de la falta de inspección final.
	Aprovechando una Parada Programada de la Unidad (Enero'08), se coordinó la presencia de un Inspector especializado, para que inspeccione el interior de la columna y coteje los planos mecánicos de los internos contra lo instalado.	- Un inspector calificado del fabricante de internos, efectuó la inspección interna de la columna y verificación de dimensiones de la zona de platos por debajo del plato de alimentación hasta el fondo. - Respecto a la instalación de platos y distribuidores, no encontró ninguna anomalía o problema mecánico

		coincidiendo los parámetros dimensionales de los platos con los planos de diseño. • Producto de la inspección, en la zona de platos de fondo, el inspector encontró una caja de cartón de dimensiones 40 x 30 x 20 cms, que había sido dejada cerca del “downcomer central” del plato 35. Su estado de conservación era bueno y no se lo podía atribuir la causa del problema.
--	--	---

3. Solución del problema.

La revisión del diseño original de los internos a cargo del fabricante de éstos, dió la oportunidad de hacer resaltar la causa real del problema interno de la columna debutanizadora: los planos mecánicos de los platos por debajo de la alimentación, mostraban que la distancia entre la parte inferior de la bajante (downcomer) y el plato inferior (el llamado “downcomer clearance”), era de 1 pulgada, en lugar de las 2.5 pulgadas para las bajantes laterales y 2 pulgadas para la bajante central que se indicaban en los reportes de los cálculos hidráulicos de los platos.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de dimensiones del “downcomer clearance” para el diseño original y el modificado.

Platos	Bajante lateral		Bajante central	
	Original	Modificado	Original	Modificado
Pares 22 a 32	---	---	1	2.25
Impares 25 a 31	1	2.25	---	---
Pares 34 a 44	1	2.25	---	---
Impares 35 a 45	---	---	1	2.25
Platos 33 y 46	1	3.25	---	---

Esta pequeña “luz” de paso del líquido (1”), generaba excesiva caída de presión al líquido y por lo tanto restricción al flujo, lo que llevaba inevitablemente a la inundación de la zona superior e inferior al plato de alimentación, generando fuerte restricción al incremento de carga.

Como resultado de este problema, el fabricante de los internos, reconoció el error durante la etapa de elaboración de los planos mecánicos de los platos y proveyó nuevas bajantes (para los platos 22 a 46) con un mayor espaciamiento, libre de costo.

Aprovechando una Parada Programada de 4 días en la PFLGN, en Mayo’08, se procedió al reemplazo de la porción inferior de las bajantes laterales y centrales de los platos 22 al 46;

adicionalmente, el borde inferior de la bajante se construyó de la forma redondeada (“radius tip”) para minimizar aun más la caída de presión.

4. Verificación de Capacidad Procesamiento.

Vuelta a la operación normal de la PFLGN, se coordinó una nueva Corrida de Prueba en Junio’08 que permita determinar la máxima capacidad procesable en Fraccionamiento; a estas alturas, como se mencionó antes, también se conocía que la Columna Depropanizadora presentaba ciertas limitaciones, aunque no tan severas como las que había presentado la Columna Debutanizadora.

La Planta fue corrida a un caudal de 51.5 MBPD por espacio de 16 horas continuas y la operación en la columna debutanizadora fue estable, con productos en especificación (aunque al borde límite de contenido de pentanos en el butano producto), caída de presión de hasta 5.5 psi, se operó a la presión cercana al diseño (75 psig). En otras palabras, se demostró que con los cambios efectuados en Mayo’08, la Columna Debutanizadora había incrementado sensiblemente su capacidad de procesamiento de 43.5 a 51.5 MBPD sin pérdida de calidad del butano.

Finalmente, para complementar lo experimentado en la corrida de prueba, se decidió efectuar un nuevo escaneo gammagráfico en Noviembre 2008 a una carga de 50 MBPD a Fraccionamiento.

Como resultado de este ensayo, se evidenció que en la parte correspondiente a los platos 27 a 33, existía una diferencia en la aereación entre las zonas activas Este y Oeste; la parte Este mostró alturas de espumamiento elevadas (“froth height”) que podría deberse a una mala distribución de vapor en esa zona o alta velocidad de vapor. Cabe mencionar que justamente el plato 33 es un plato de chimenea que recibe los vapores que vuelven del rehervidor de fondo. Es posible que este fenómeno esté influenciado por la operación ineficiente de la columna depropanizadora, pues la carga a la columna debutanizadora presentó alto contenido de propano.

El resto de platos presentó una morfología normal, por lo que se consideró superado el problema de inundación en la debutanizadora.

Conclusiones.

La cronología de la solución del problema en la columna debutanizadora se resume como sigue:

Fecha	Actividad
Agosto 2005	1er Gamma Scanning (objetivo línea Base). Se detecta inundación en la región de platos por debajo de la alimentación.
Octubre 2007	2do Gamma Scanning. Evaluado a mayor carga. Se confirma problema de inundación en la región de platos por debajo de la alimentación; adicionalmente se encuentra inundación por encima del plato de alimentación.
Enero 2008	Inspección Interna columna. Internos en buen estado, sin

	problemas. Se encuentra la caja de cartón.
Enero a Abril'08	Se efectúa corrida de prueba y se envía información operativa a empresa que efectuó el EPC y al fabricante de Internos. Estos últimos encuentran la causa del problema.
Mayo 2008	Se efectúa el reemplazo de la parte inferior de las bajantes laterales y central de los platos de 24 al 46.
Junio 2008	Corrida de Prueba a 51.5 MBPD para comprobar la correcta operación de la Columna Debutanizadora.
Noviembre 2008	3er Gamma Scanning para confirmar correcta operación de la columna debutanizadora a 50 MBPD.

- Rescatar la importancia de efectuar las Pruebas de Garantía en las Unidades nuevas y equipos, para detectar tempranamente y durante el tiempo de garantía, cualquier problema de índole de diseño y/o mecánico y/o operativo.
- Los elementos importantes para acotar el problema y detectar su causa fueron la observación operativa, las corridas de prueba, la réplica de la operación haciendo uso del Simulador de procesos, la intervención de especialistas y principalmente el empleo de técnicas como el escaneo gammagráfico.
- Mientras más temprana es la detección de “cuellos de botella” en las Unidades, menor es el impacto económico implícito en la menor carga procesada y/o en la optimización de rendimientos de productos.
- El problema de Inundación se considera superado, debido a que se alcanzó el caudal de carga de diseño de la Unidad, con condiciones estables y butano en especificación..

Bibliografía.

1. “Troubleshooting Process Operation” ,Norman Lieberman, Third Edition 1991. PennWell Books.
2. “Distillation Operation”, Henry Kister, First Edition 1990. Mc Graw-Hill.
3. “What caused tower malfunctions in the last 50 years?” por H.Z.Kister, Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE, Vol 81,Part A, January 2003
4. Informe de Corrida de Prueba de la Unidad de Fraccionamiento. Febrero 2008
5. Informe de Corrida de Prueba de la Unidad de Fraccionamiento. Junio 2008
6. Informes de Gamma Scanning, realizadas en Agosto 2005, Octubre 2007 y Noviembre 2008.

Figura 1: Diagrama de Bloques de la Unidad de Fraccionamiento

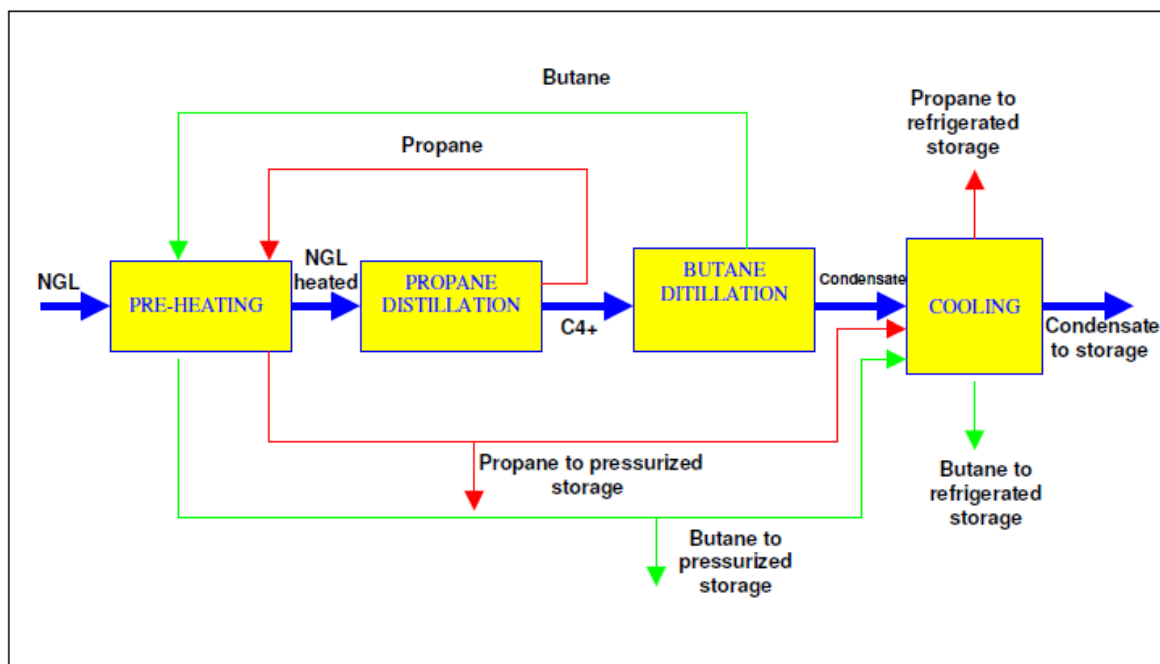


Figura 2: Diagrama de Bloques de la Unidad de Topping.

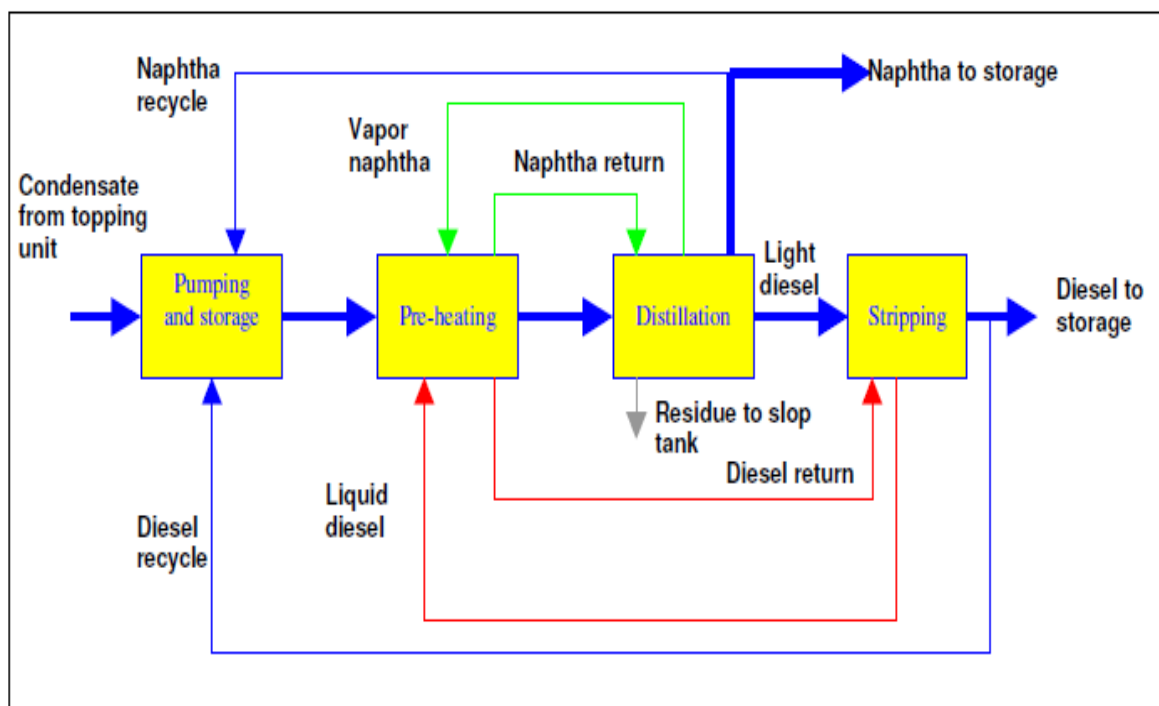


Figura 3: Diagrama de Flujo de Procesos Columna Debutanizadora.

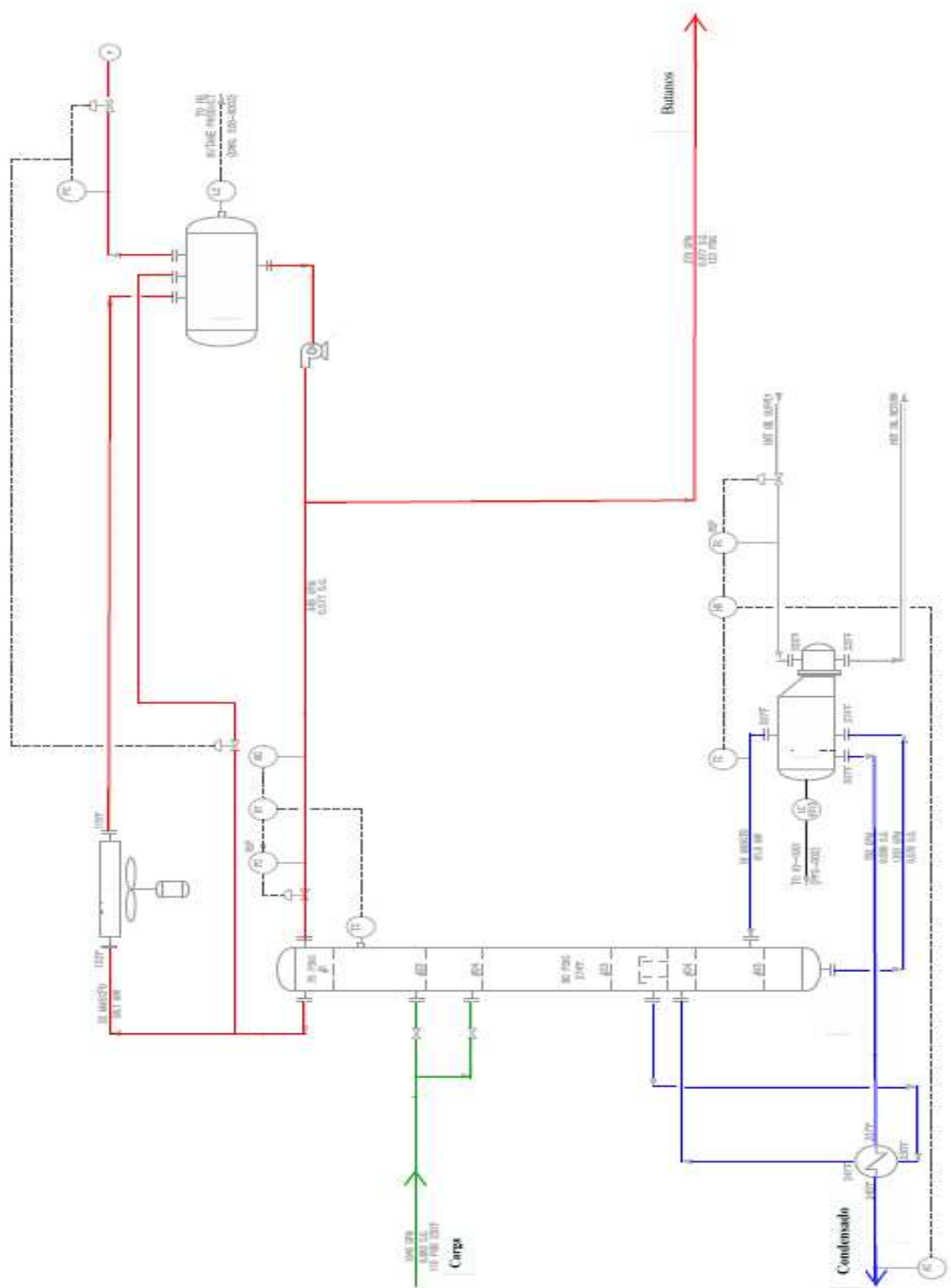


Figura 4: Diagrama mecánico de la Columna Debutanizadora

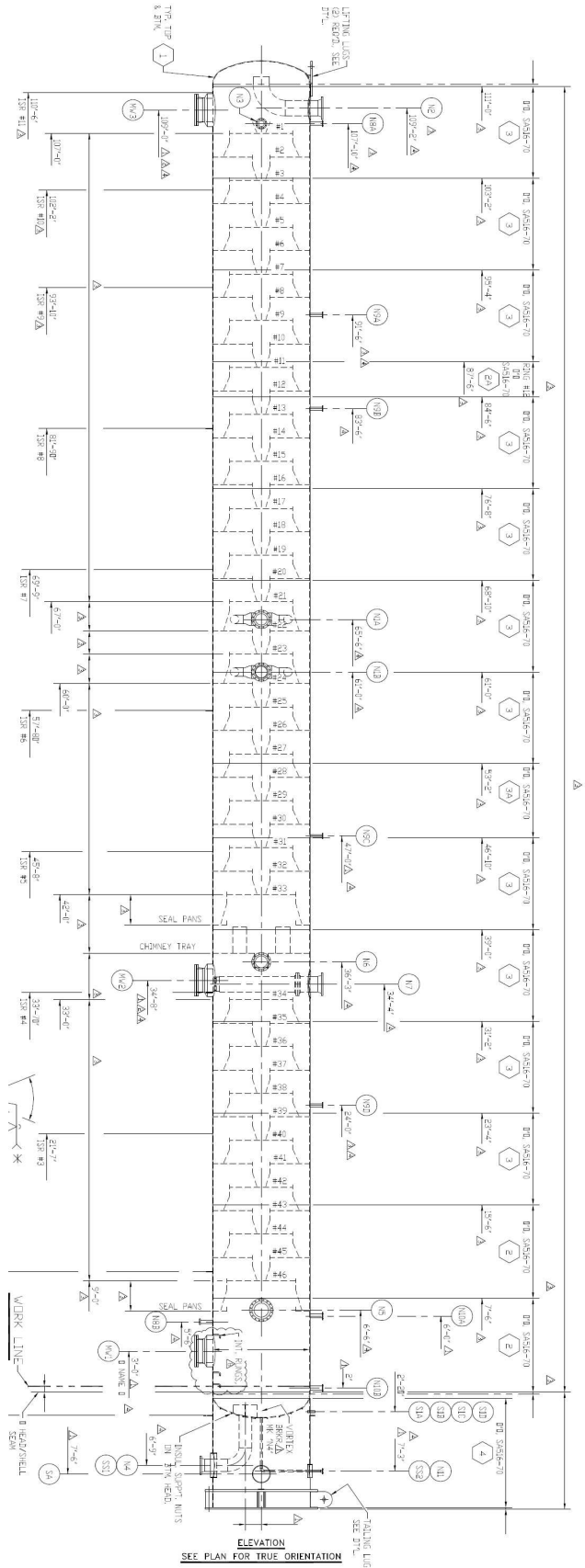


Figura 5. Reporte de Escaneo Gammagráfico comparativo años 2005 y 2007.

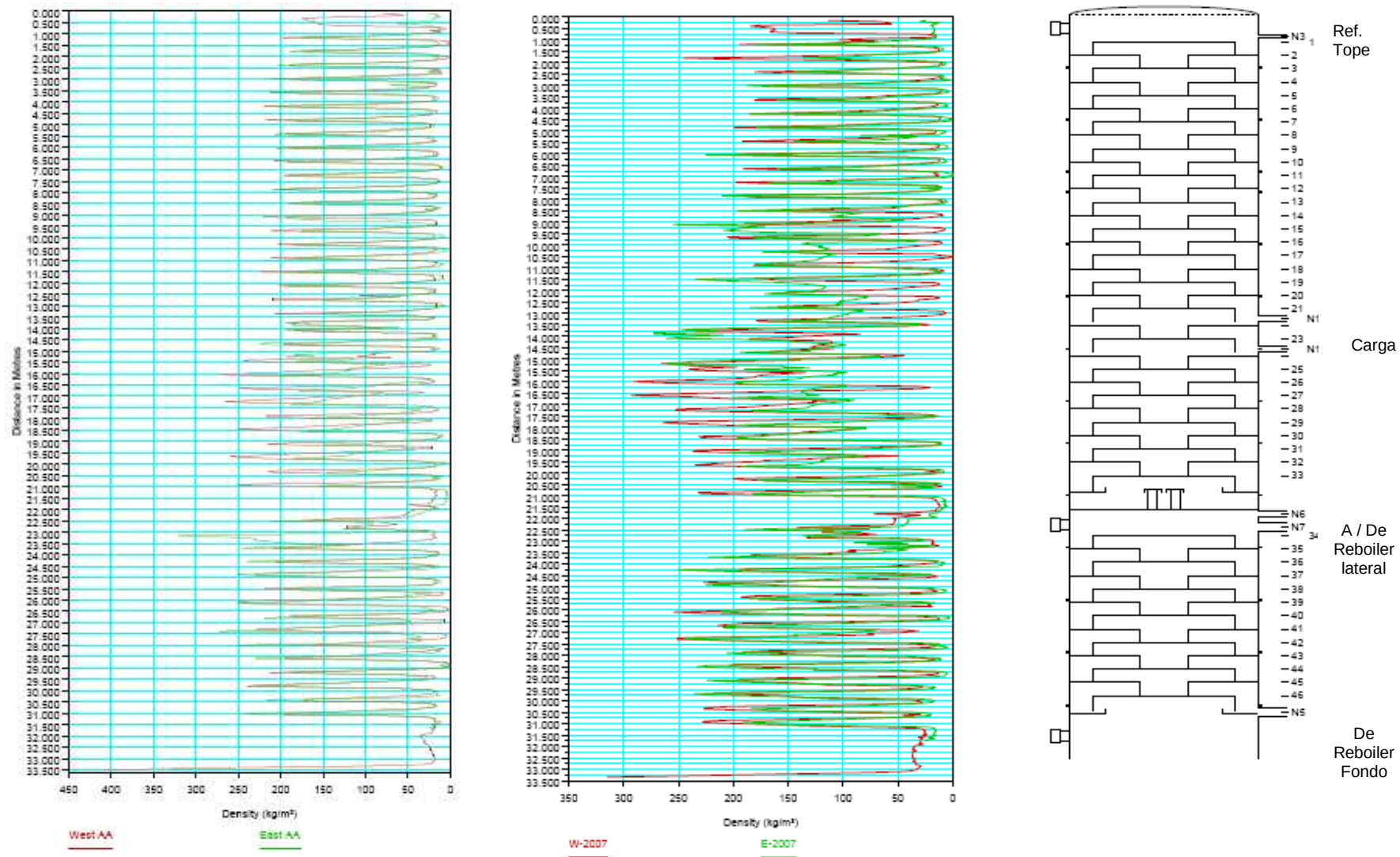


Figura 6: Análisis Causa Raíz del Problema de Inundación.

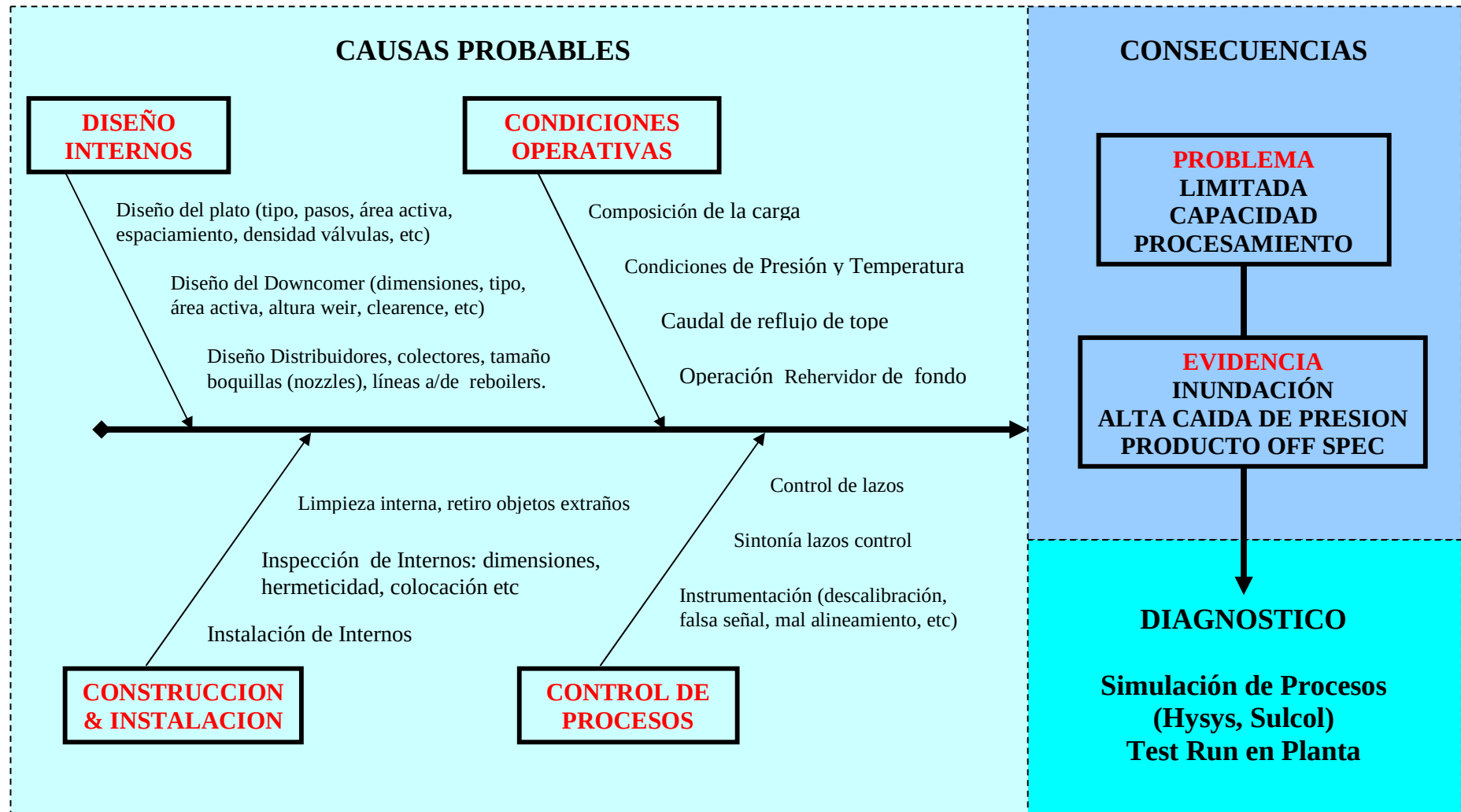
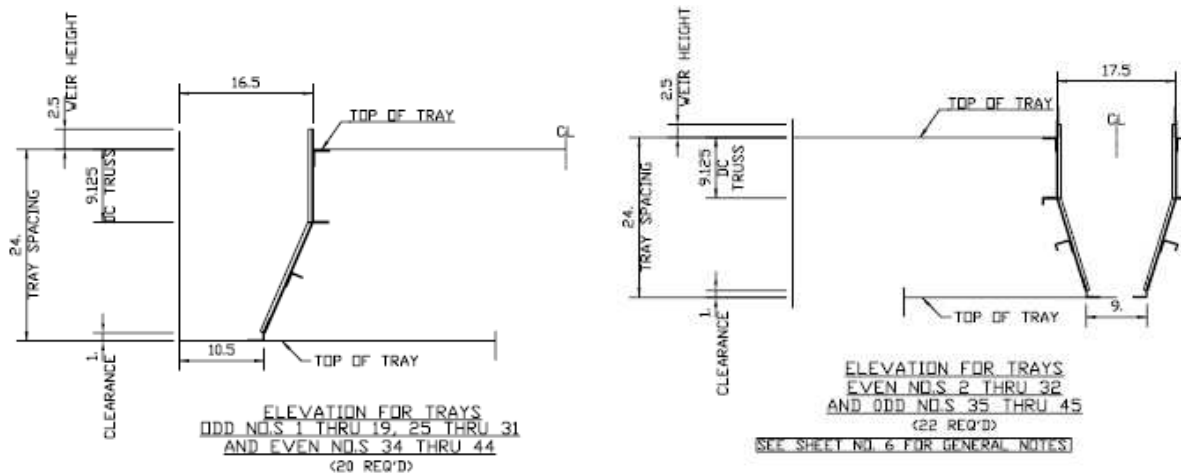


Figura 7. Causas de malfuncionamiento de Columnas

No.	Cause	Cases	1992+	1991–	Ref.	Chem.	O/ G
1	Plugging, coking	121	70	51	68	32	16
2	Tower base and reboiler return	103	51	52	51	22	11
3	Tower internals damage (excludes explosion, fire, implosion)	84	35	49	35	33	6
4	Abnormal operation incidents (startup, shutdown, commissioning)	84	25	59	35	31	12
5	Assembly mishaps	75	36	39	23	16	11
6	Packing liquid distributors	74	48	26	18	40	6
7	Intermediate draws (includes chimney trays)	68	45	23	50	10	3
8	Misleading measurements	64	31	33	31	9	13
9	Reboilers	62	28	34	28	13	15
10	Chemical explosions	53	17	36	11	34	9
11	Foaming	51	26	25	19	11	15
12	Simulations	47	35	12	13	28	6
13	Leaks	41	22	19	13	19	7
14	Composition control difficulties	33	16	17	11	17	5
15	Condensers that did not work	31	12	19	14	13	2
16	Control assembly	29	16	13	7	14	7
17	Pressure and condenser controls	29	14	15	18	3	2
18	Overpressure relief	24	10	14	10	7	2
19	Feed inlets to tray towers	18	11	7	11	3	3
20	Fires (no explosions)	18	8	10	11	3	4
21	Intermediate component accumulation	17	8	9	6	4	7
22	Chemicals release to atmosphere	17	5	12	6	10	1
23	Subcooling problems	16	11	5	8	5	1
24	Low liquid loads in tray towers	14	6	8	6	2	3
25	Reboiler and preheater controls	14	6	8	6	—	5
26	Two liquid phases	13	7	6	3	9	1
27	Heat integration issues	13	8	5	5	2	6
28	Poor packing efficiency (excludes maldistribution/ support/ hold-down)	12	8	4	4	3	2
29	Troublesome tray layouts	12	5	7	5	2	—
30	Tray weep	11	3	8	6	1	3
31	Packing supports and hold-downs	11	4	7	4	2	2

Figura 8: Comparación de Dimensiones de Bajantes en Platos.

Diseño Original



Diseño Mejorado

