

ANÁLISIS DE SEGURIDAD FUNCIONAL EN LA REPOTENCIACIÓN DE UN OLEODUCTO DEBIDO AL INCREMENTO DE PROCESAMIENTO DE UNA REFINERÍA

Alejandro Manuel Merino-Frias Calvo, Gerónimo, YPF SA, alejandro.merino@ypf.com-geronimo.frias @ypf.com

Sinopsis

En el transporte de hidrocarburos por ductos, se deben tener en cuenta diferentes aspectos respecto a una línea de proceso de planta en cuanto riesgos, ya que en general, poseen mayores diámetros, presiones, longitudes y volúmenes a transportar. Además, es fundamental considerar que los mismos se desarrollan en grandes distancias atravesando poblaciones, campos, lagos, ríos, entre otros.

Durante el desarrollo de un proyecto para la determinación del aumento de capacidad de transporte de un oleoducto, se debe estudiar con detenimiento si las capas de protecciones actuales son suficientes para mantener los niveles de riesgos por debajo de los predeterminados por la organización y/o autoridades de aplicación, y, de ser necesario, se deberá implementar nuevas o redefinir las existentes.

Con el fin de incrementar confiabilidad y darle continuidad al abastecimiento de la Refinería “Luján de Cuyo” por su aumento de procesamiento según plan estratégico, se solicitó la necesidad de incremento de capacidad de transporte del Oleoducto “Puesto Hernández-Luján de Cuyo” de 450 m³/h a 650 m³/h. Dada esta situación, se debieron evaluar mediante simulaciones hidráulicas, la efectividad de las protecciones instaladas (instrumentadas y mecánicas) actuando de forma independiente ante transitorios hidráulicos producidos por bloqueos de válvulas de línea y por el bloqueo de válvulas en estaciones de bombeo.

Los resultados obtenidos de las simulaciones hidráulicas se comparan con el criterio de aceptación de la normativa vigente legal de la Rep. Argentina: REGLAMENTO TÉCNICO PARA EL TRANSPORTE POR DUCTOS DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS Res. 120/2017 (el mismo se basa en ASME B31.4: ante la ocurrencia de un transitorio no se debe sobrepasar el 10% de la presión máxima operativa -MAOP-). De esta manera se podrá determinar si la capa de protección es válida.

En aquellos casos en los donde no se cumple el criterio de aceptación mencionado, se han propuesto nuevas protecciones instrumentadas y mecánicas, realizando nuevamente las simulaciones hidráulicas y evaluando si estas nuevas protecciones propuestas dan cumplimiento del criterio de aceptación.

Por último, los resultados de las simulaciones comparados con el criterio de aceptación serán utilizados en los estudios de riesgos correspondientes (HAZOP/LOPA), con el fin de determinar si las capas de protección son válidas o no y si se disminuye el riesgo a niveles aceptados por la organización.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se centra en oleoducto Puesto Hernández – Luján de Cuyo el cual transporta petróleo crudo desde Puesto Hernández (PH) hasta Luján de Cuyo(LC) a través de las estaciones intermedias de Aguas del Carrizo(AC), Cerro Divisadero(CD), Malargüe(MG), El Sosneado(ESO), reguladora Pareditas (ERPA) y Río Tunuyán(RTU). En todas estas se incorporan inyecciones de lo que se denomina “Crudos Cautivos”.

Este trabajo resume los resultados de la evaluación de los transitorios hidráulicos producidos por bloqueos de válvulas de líneas y de estaciones de bombeo del Oleoducto Puesto Hernández (PH) - Luján de Cuyo (LC) con la finalidad de determinar las protecciones válidas para controlar las sobrepresiones dentro de las tolerancias admisibles.

El análisis se realiza para evaluar un aumento de capacidad de transporte con una premisa de incremento de despacho desde su cabecera con una alta composición de crudo “No Convencional”.

Se estudia la respuesta hidrodinámica del Oleoducto ante el bloqueo de las válvulas de línea (válvulas de bloqueo de ducto y de estaciones de bombeo) y se determina la validez de las protecciones existentes para controlar las sobrepresiones, tanto instrumentadas como mecánicas, verificando que no superen el 10% de la MAOP (Máxima Presión de Operación Admisible), tal como lo indica la norma ASME B31.4 de aplicación mandatoria según Reglamento Técnico Res.120/2017, actuando de manera independiente.

Dado que las condiciones hidráulicas del oleoducto serán modificadas para cumplir con el incremento de transporte, se evalúan protecciones adicionales a las existentes para que puedan ser incluidas en los estudios de riesgo correspondientes, de manera de reducir el riesgo a lo especificado en la Matriz de Riesgo para la operación de transporte de hidrocarburos líquidos de la compañía.

Las simulaciones hidráulicas del oleoducto se realizaron a través del software Synergi Pipeline Simulator V10.0.3

Las características principales del oleoducto son:

- Posee 21 válvulas de bloqueo de línea, operadas en forma remota un despacho central
- La longitud del conducto es de 530 km, con un diámetro de 16” en toda su extensión.
- La altimetría máxima es de 1440 m.s.n.m.y la altimetría mínima es de 640 m.s.n.m.
- En todas es estaciones de bombeo posee inyección de DRA (Drag Reduction Agent)
- Se inyecta crudo ”cautivo” en AC,CD,ESO y Ugarteche.

A continuación, se muestra el perfil altimétrico del ducto señalando: MAOP, elevación y situación de estaciones de bombeo y válvulas de bloqueo de línea.

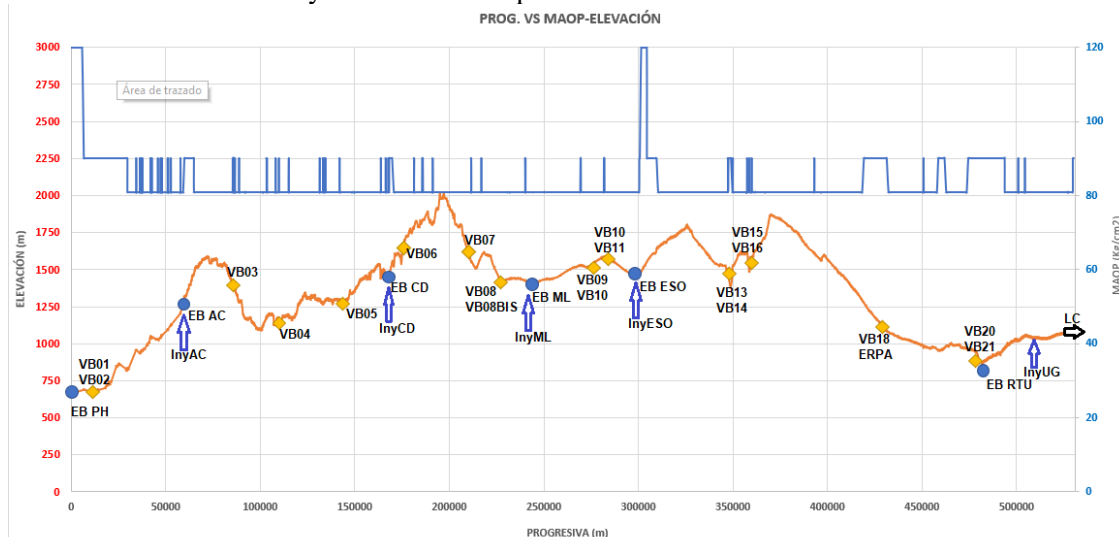


Imagen 1: Perfil Altimétrico y MAOP del conducto

DESARROLLO

1) PRESENTACIÓN DEL PLAN ESTRATÉGICO

De manera de tener información de que, y cuanto se requiere transportar, el área de planificación estratégica hizo entrega del plan estratégico 2026. Allí se detallan los volúmenes de crudo que requerirá la Refinería Lujan de Cuyo y por ende las necesidades de transporte incrementales.

Es importante destacar que en esta etapa se ve los tipos de crudos que se transportarán e, hidráulicamente, interesan fundamentalmente la densidad y viscosidad que determinarán el comportamiento del transporte. La canasta futura presenta un total de 59% de crudo “No Convencional” o “Shale”, que poseen densidades y sobre todo viscosidades menores que los crudos Convencionales, por lo que esta situación favorecerá la capacidad de transporte.

2) ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE DEL MODELO

A continuación, se describen los elementos e información del sistema que se deben cargar en el simulador para lograr el mejor ajuste del modelo:

- ✓ CARACTERÍSTICAS DEL DUCTO: diámetro, largo, espesores, elevación vs. MAOP, material, perfil de temperatura de suelo

- ✓ DATOS DE VÁLVULAS: locación, tamaños, tipo, características de flujo, tiempos de apertura y cierre.

- ✓ DATOS DE BOMBAS: curvas de performance (altura, eficiencia vs. Caudal), condiciones nominales, inercia, filosofía de control.

- ✓ PROPIEDADES DE FLUIDOS: descripción, Densidad, perfil de viscosidad (ASTM), módulo de compresibilidad (Bulk), condiciones de custody transfer.

- ✓ CONDICIONES DE BORDE: Set point de presiones y caudales, fuentes, entradas y salidas de flujo a presión y caudal constantes

- ✓ DATOS DE OPERACIÓN: procedimientos de arranque y paro, operación de bombas, filosofía de operación y control, sistemas de seguridad.

- ✓ ESQUEMAS Y/O PLANOS: LayOut y P&ID de instalaciones, imágenes.

- ✓ UNIDADES: unidades de medida para todos los datos

Con todo lo anterior definido se logra el perfil hidráulico para la realización de las simulaciones hidráulicas:

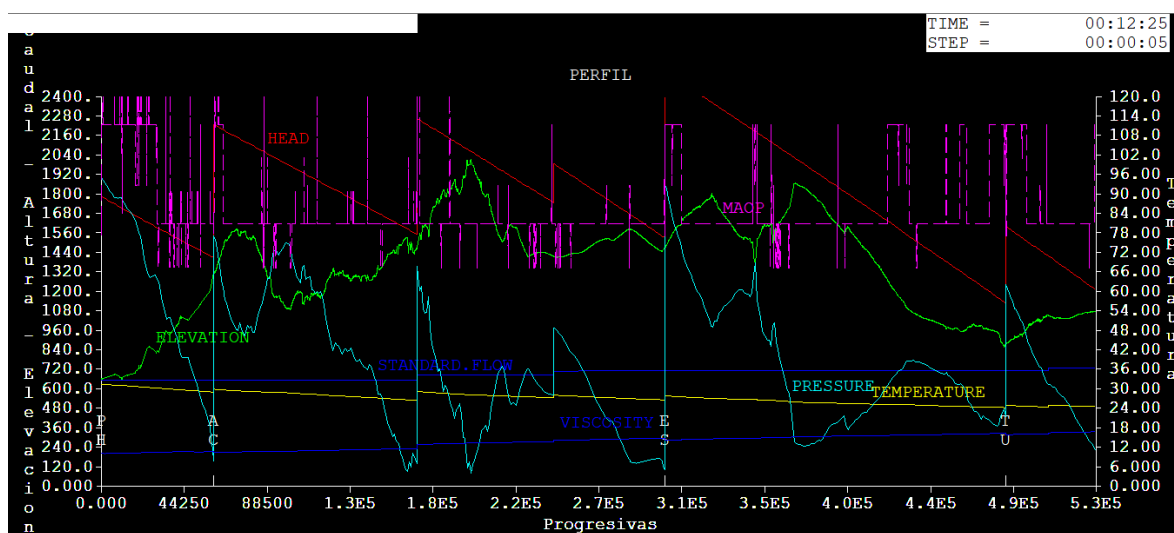


Imagen 2: vista del perfil hidráulico en el simulador

3) ANÁLISIS ESTACIONARIO

Se realiza el análisis en régimen estacionario con el fin de evaluar los siguientes aspectos para lograr la capacidad de transporte requerida:

- ✓ Capacidad de transporte en situación actual, escenarios de máximo y mínimo transporte.
- ✓ Puntos de Operación de Equipos de Bombeo.
- ✓ Posibilidad de Inyección de DRA (agente reductor de fricción).
- ✓ Presiones máximas de operación (MAOP)
- ✓ Limitaciones hidráulicas por picos en la altimetría.

Un aspecto importante de este análisis es determinar que presiones de descarga se requieren en las estaciones de bombeo. Al estudiar un incremento en la capacidad de transporte, como es de esperar, se genera un incremento de las presiones de descarga. A continuación, se detallan los valores de set point de descarga actuales y los futuros, necesarios para dar cumplimiento al plan estratégico.

EEBB	PRESIONES DE DESCARGA (kg/cm ²)	
	ACTUAL	FUTURA
PH	89	95
AC	70	77
CD	78	78
MG	--	60
ESO	87	95
RTU	67	67
LC	12	12

Tabla 1: Valores de SET POINT actuales y futuros

También como aspecto a destacar, luego del análisis estacionario, es la adición de una nueva estación de bombeo en Malargüe, que, en la actualidad, es una estación inyectora de crudo. Esta nueva estación de bombeo permitirá sortear la limitación hidráulica del tramo CD-ESO que es una de las primeras en aparecer cuando se quiere incrementar caudal desde PH.

Otra observación derivada del régimen estacionario es que la variación altimétrica trae aparejadas complejidades dando limitaciones hidráulicas en los tramos entre estaciones de bombeo muy similares; una sola acción no logrará un incremento significativo en la capacidad de transporte. En este caso la incorporación de la estación de bombeo MG por sí misma, no logrará un significativo aumento de transporte.

4) ANÁLISIS TRANSITORIO

Para los análisis transitorios se realizaron las simulaciones hidráulicas generando bloqueos de las válvulas de línea y de ingreso a las estaciones de bombeo. Para cada bloqueo se deja activada una capa de protección y, mediante una planilla de cálculo se determina si son válidas o no, entendiendo esto como el cumplimiento de los criterios de aceptación: ASME B31.4 y RES 120/2017.

A continuación, se describen las protecciones, tanto instrumentadas como mecánicas, que se tuvieron en cuenta para realizar las simulaciones. Para las instrumentadas, cabe destacar que la independencia total en la actuación no es posible lograr, ya que, por ejemplo, la estrategia global de control utilizará los lazos de control de cada estación para reducir el set point de descarga de esta. Además de lo mencionado, en la práctica, las protecciones comparten instrumentación, PLC y cableado, entre otros. Estas condiciones deberán estudiarse con detenimiento en los análisis HAZOP-LOPA que se realicen.

Los niveles de protección se evalúan por separado para determinar si son aplicables como capas de protección independientes, esto permite multiplicar las probabilidades de falla o PFD de cada capa.

Este criterio permite considerar los resultados obtenidos para la realización de un análisis LOPA, considerando como se mencionó anteriormente, la independencia real, a los fines de evaluar la reducción de la probabilidad de ocurrencia de un evento de sobrepresión.

Lazos de control (BPCS): esta capa hace referencia a la función protectora que ejercen los lazos de control, como capa inherente al diseño del sistema. La velocidad de actuación del lazo dependerá, de entre otras cosas, del controlador y su configuración.

Estrategia Global de Control (EGC): se determina por la detección de bloqueo local de una planta y se disparan acciones como reducir el set point de descarga y paros de planta o cualquier otra acción para volver el sistema a un estado seguro.

Debido a la incorporación de la nueva EB Malargüe se modificó la matriz de acciones y los parámetros que se encuentran configurados actualmente. Como se verá en el apartado donde se muestran los resultados, los nuevos valores ingresados resultaron satisfactorios, pero de ser necesario, esto puede estar sujeto a modificaciones. Además, cabe aclarar que, si bien ya en Malargüe existe estrategia global, la misma es por detección del cambio del diferencial de presión. Al incorporarla como estación de bombeo, se considera la estrategia global, actuada por cambio de presión y caudal, como el resto de las EB.

Las intervenciones hacia aguas abajo de los bloqueos se implementan para evitar que las detenciones den lugar a la cavitación en los puntos altos de la línea, así permitir la rápida puesta en marcha en caso de intervenciones espurias.

Switch de Paro por Alta Presión (HPSD): se ordena el paro de la estación de bombeo inmediatamente superado un valor de presión en la descarga de esta. Para el caso de la nueva EB Malargüe se incluyó además del que posee aguas arriba de la EB, uno aguas abajo, es decir, en la descarga de esta.

Switch de Paro por Alta Presión en Válvula (HPSD_VB): consta en ordenar el paro de la estación de bombeo ubicada aguas arriba de la válvula, una vez superado un valor de presión.

Inicio de cierre de Válvula (ICVB): Se determina aplicando el algoritmo de detección de cambio al Delta P (CUSUM-Filtro RLS) y detección de tránsito de la válvula de bloqueo. En caso de que se supere un umbral en el cambio del deltaP leído en la válvula y que se detecte que la misma este en tránsito, se determina la acción de paro de la estación de bombeo aguas arriba de este dispositivo.

Comando de cierre (C.Cierre): Consiste en la detección de comando de cierre involuntario de una válvula y tomar acciones para llevar a condición segura el ducto. Cabe destacar que esta es más rápida que la primera (ICVB) dado que su efecto es inmediato, ya que, aunque no se haya producido el cierre efectivo de la válvula, se ordena el paro de la EB aguas arriba. En el simulador simplemente esta protección se modeló ordenando el paro de la EB aguas arriba de la válvula cuando el porcentaje de apertura es menor al 100%.

Válvulas de Alivio de Presión (PSV)

Esta es la única protección mecánica considerada en el análisis. Todas las PSV se modelaron mediante una válvula convencional con resorte normalizadas.

PSV adicionales:

Las válvulas PSV situadas en By-Pass de válvula de bloqueo y en la succión de las EB AC y CD. Fueron agregadas para dar cumplimiento con el criterio de no sobrepaso de 110% de la MAOP, ya que, con las mencionadas anteriormente en algunos casos no satisfacía el mismo. De esta manera, se asegura que la capa de protección por alivio de presión, en todos los casos, de cumplimiento al criterio. Para definir los valores de Seteo se tuvo en cuenta el valor más alto posible para evitar la apertura de estas, cuando por ejemplo un switch de paro puede actuar antes.

Como alternativa a lo anterior, se realizaron las simulaciones de los bloqueos contemplando una PSV a instalar en la VB04 (set 72 Kg/cm²) y VB13 (set 80 Kg/cm²), con descarga a tanque. Esto permite controlar la presión en esos puntos y, además, como se verá en los resultados, protegen adecuadamente por bloqueos de las válvulas VB05, VB06 con PSV en VB04 y, VB14, VB15, VB16 y VB17 con PSV en VB13.

A continuación, se resumen los valores de Seteo de las capas de protección:

SETEO DE PROTECCIONES PH-LC (kg/cm ²)					
Instalación	EGC	HPSD		PSV	
		Actual	Futura	Actual	Futura
PH	X	91	97	95	100
AC	X	73	79	75	82
VB04		70	70		
CD	X	83	83	86	86
REG MG	X			78	78
MG		--	70	--	--
ESO	X	90	97	--	--
VB13		66	66		
PA-UPS	X			98	98
PA-DWS				72	72
RTU	X	70	70	--	--
LC	X			70	70

Tabla 2: Adecuación del Seteo de protecciones

Luego de configurar todas las protecciones se realizan las simulaciones bloqueando de una a la vez las válvulas de línea y de estaciones de bombeo actuando cada protección de forma independiente.

Una vez simulado los bloqueos se genera en el simulador mencionado un gráfico histórico de la envolvente de presión. Para cumplir con los criterios de aceptación, la misma no deberá superar en todo el tramo el 110% de la MAOP. Los datos representados en los gráficos se descargan a una planilla de cálculo, en donde se demuestra analíticamente si existe sobrepaso del 110% de la MAOP.

A continuación se muestran los gráficos de envolvente de presión para la válvula VB02:

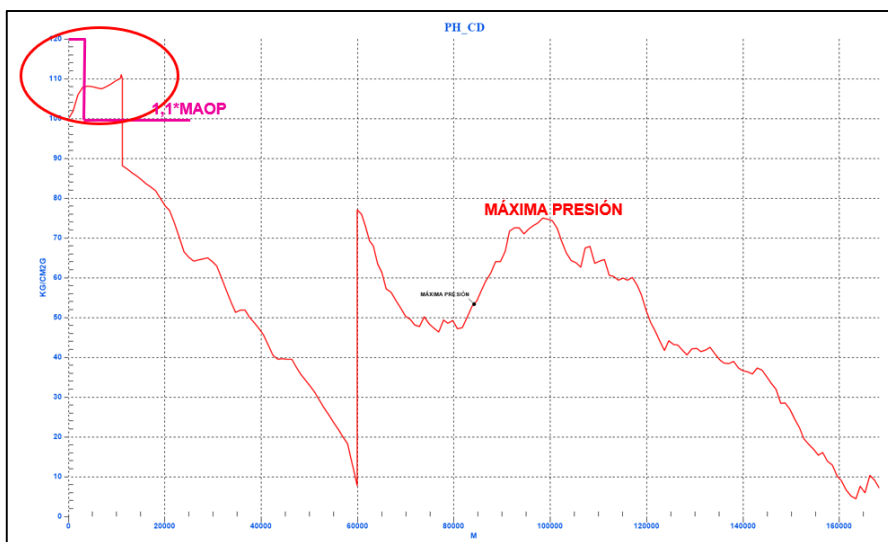


Gráfico1: envolvente de presión resultante del bloqueo en VB02, actuando el HPSD en PH

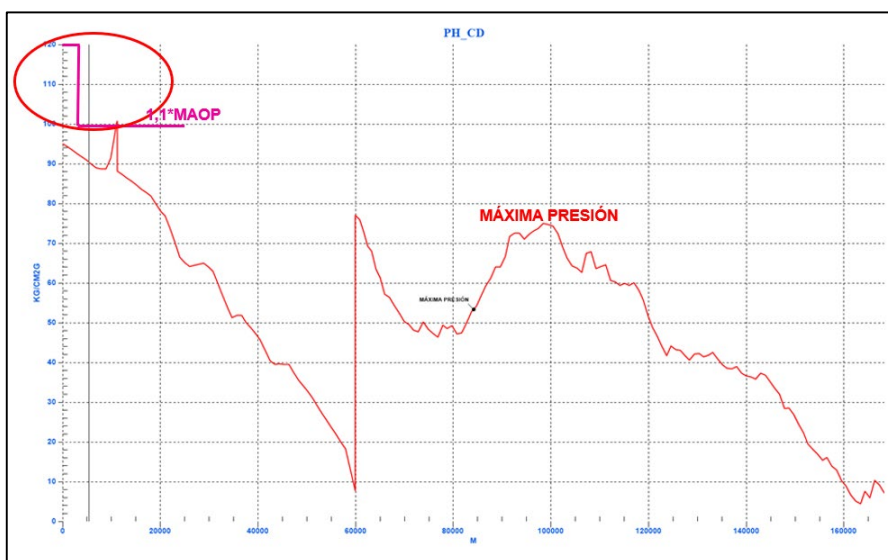


Gráfico2: envolvente de presión resultante del bloqueo en VB02, actuando el C.Cierre de la válvula

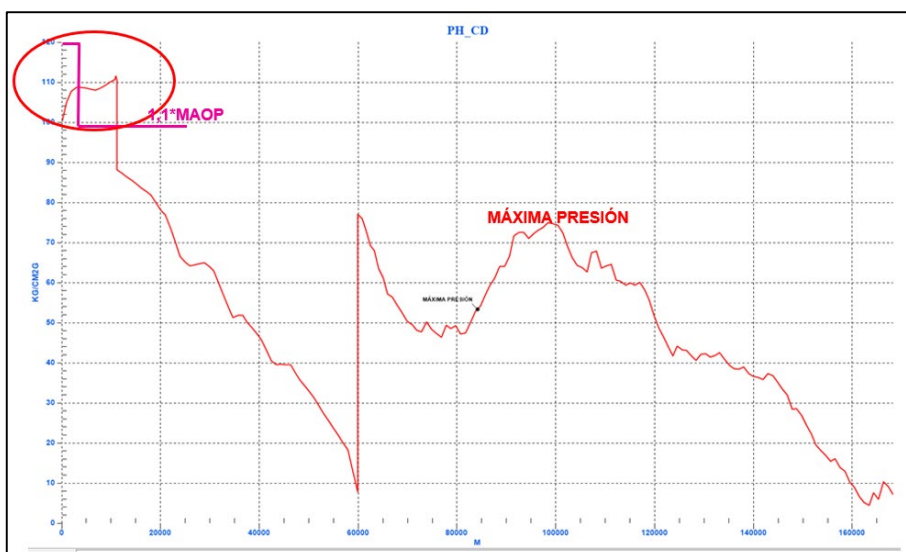


Gráfico3: envolvente de presión resultante del bloqueo en VB02, actuando la PSV en PH

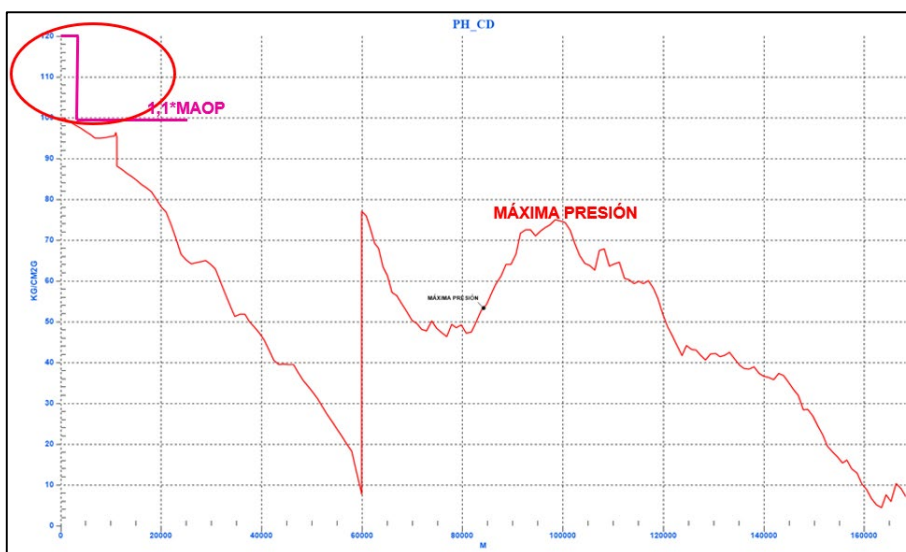


Gráfico4: envolvente de presión resultante del bloqueo en VB02, actuando la válvula de seguridad en by-pass

Por último, con todos los resultados de las simulaciones en las planillas de cálculo, se confeccionaron las tablas 3 y 4 que muestran los resultados de los transitorios evaluados. Como se puede observar, figuran solo aquellas capas de protección que dan cumplimiento al criterio de aceptación mencionado, ya que estas son las que pasarán a los estudios de riesgo para ser evaluadas. Las casillas remarcadas en azul indican que son protecciones agregadas que no son existentes y valores de Seteo modificados respecto a los actuales.

DISPOSITIVO DE BLOQUEO	PROTECCIÓN	SET (Kg/cm2)	TRAMO	PK INI (m)	PK FIN (m)	LONG (m)	MAOP DE REFERENCIA (Kg/cm2)	SOBREPASO DE LA MAOP (%)	SOBREPASO DEL 110%MAOP (Kg/cm2)
VB02	C.CIERRE Cbio.Act.	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	95.3	-----	NO HAY SOBREPASO					
AC	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (PH)	97	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV SUCC AC	34	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB03	HPSD (AC)	79	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (AC)	82	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB04	C.CIERRE	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV-BY PASS	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV- TK VB04	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB05	HPSD_VB (VB04)	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BYPASS	63	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV- TK VB04	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
CD	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD_VB (VB04)	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (AC)	79	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV SUCC CD	35	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV- TK VB04	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB06	C.CIERRE	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (CD)	86	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB07	HPSD (CD)	83	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (CD)	86	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB08	HPSD (CD)	83	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	82	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB08-Bis	HPSD (CD)	83	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	82	-----	NO HAY SOBREPASO					
REG MA	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (CD)	83	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (REG MA)	78	-----	NO HAY SOBREPASO					
EEBB MA	BPCS	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (CD)	83	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (REG MA)	78	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB10	BPCS	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (MA)	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (MA)	86	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB12	HPSD (MA)	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (MA)	86	-----	NO HAY SOBREPASO					

Tabla 3: Resultados de los transitorios hasta VB12

DISPOSITIVO DE BLOQUEO	PROTECCIÓN	SET (Kg/cm2)	TRAMO	PK INI (m)	PK FIN (m)	LONG (m)	MAOP DE REFERENCIA (Kg/cm2)	SOBREPASO DE LA MAOP (%)	MAX SOBREPASO DEL 110%MAOP (Kg/cm2)
EEBB ES	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (MA)	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (MA)	86	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB13	HPSD (ES)	97	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	ICVB	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	C. CIERRE	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV TK VB13	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB14	C. CIERRE	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	84	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV TK VB13	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB15	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV TK VB13	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB16	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV TK VB13	80	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB17	HPSD (ES)	97	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV BY PASS	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
REG PA	BPCS	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (ES)	97	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (PA UPS)	98	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB19	BPCS	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (ES)	97	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (PA DWS)	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
EB RTU	BPCS	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (ES)	97	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD_VB (VB13)	66	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (PA DWS)	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
VB21	PSV (PA DWS)	72	-----	NO HAY SOBREPASO					
ET LC	EGC	N/C	-----	NO HAY SOBREPASO					
	HPSD (TU)	70	-----	NO HAY SOBREPASO					
	PSV (TU)	72	-----	NO HAY SOBREPASO					

Tabla 4: Resultados de los transitorios hasta LC

5) ESTUDIOS DE RIESGO

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones se pasa a realizar los estudios de riesgo correspondientes: HAZOP /LOPA. Los mismos permiten que la evaluación final la realice un equipo multidisciplinario para obtener la documentación definitiva que avale las acciones a realizar sobre el sistema:

- ✓ Redefiniciones de Seteo de protecciones existentes
- ✓ Instalación de nuevas protecciones

En la siguiente tabla se ejemplifica una evaluación de un escenario de aumento de presión debido a un bloqueo de la válvula 01 y 02, que encuentran a 10,7 Km y 11,1 Km de la cabecera (PH)respectivamente. Entre ellas se encuentra el río colorado.

Desviación	Causa	Consecuencia	CAT *	Riesgo Inicial				Sal v. CA T **	Riesgo Actual				Recomendaciones	Comentarios	Responsable	Riesgo residual			
				C	E	P	R		C	E	P	R				C	E	P	R
Más Presión	1.1.1. Cierre indebido de válvulas VB-01 en tramo PH-AC LOPA Scenario - Initiating Event - 1.1.1	1.1.1.1. Aumento de presión en ducto. Posibilidad de rotura de ducto. Contaminación ambiental con afectación de cauces secos aluvionales. Posible incendio con afectación a las personas LOPA Scenario: 1.1	MA	7,0	1,2	5,0	42	1. Comando de cierre de válvula VB01 (CCVB) 2. PSV de By Pass de VB-01	BP CS	7,0	1,2	1,2	10						
			P	7,0	1,2	1,2	10			7,0	1,2	0,3	3						
			A	7,0	1,2	5,0	42		PF	7,0	1,2	1,2	10						
		1.1.1.2. Cavitación de bombas principales de AC. Ver HAZOP de AC.																	
	1.1.2. Cierre indebido de válvulas VB-02 en tramo PH-AC LOPA Scenario - Initiating Event - 1.3.1 LOPA Scenario - Initiating Event - 1.2.1	1.1.2.1. Aumento de presión en ducto. Posibilidad de rotura de ducto. Contaminación ambiental con afectación de cauces secos aluvionales. Posible incendio con afectación a las personas LOPA Scenario: 1.2	MA	7,0	1,2	5,0	42	1. Comando de cierre de válvula VB02 (CCVB) 2. PSV de By Pass de VB-01	BP CS	7,0	1,2	1,2	10						
			P	7,0	1,2	1,2	10			7,0	1,2	0,3	3						
			A	7,0	1,2	5,0	42		PF	7,0	1,2	1,2	10						
		1.1.2.2. Aumento de presión en ducto. Posibilidad de rotura de ducto sobre el cruce de río Colorado, impacto ambiental LOPA Scenario: 1.3	MA	40,0	1,2	1,2	58	1. Comando de cierre de válvula VB02 (CCVB) 2. PSV de By Pass de VB-02	BP CS	40,0	1,2	0,3	14						
		1.1.2.3. Cavitación de bombas principales de AC. Ver HAZOP de AC.																	

Tabla 5: Vista de resultados de estudio HAZOP

Como se puede observar, la función SIF HPSD en PH deberá poseer un nivel SIL 1. Esta situación ocurre debido a que se evalúa un escenario de bloqueo en la cercanía de un cruce de agua, teniendo una consecuencia al medioambiente alta.

Como resultado general del trabajo realizado resultan las siguientes acciones:

- ✓ Como consecuencia de un aumento de presión de descarga en PH y ESO se deberán cambiar 11 Km de ducto para poder operar a mayor presión.
- ✓ Se deberán instalar válvulas de seguridad en bypass a las válvulas de bloqueo VB01, VB02, VB04, VB05, VB14, VB15 y VB16.
- ✓ Se deberán instalar 2 paros por alta presión (HPSD) con un nivel SIL1 en la descarga de las estaciones de bombeo PH y TU.
- ✓ Se deberá instalar protecciones por comando de cierre indebido en las válvulas VB01, VB02, VB06 y VB14.

Breve Cv:

Título y lugar de estudio: Ingeniero Mecánico-U.N.L.P

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de Procesos-Simulación de Transporte por Conductos

Compañía anterior: Oxbow Argentina - Planta Copetro