

Gestión de la condición dinámica a través del “Diseño Eficiente”

Juan Carlos Leonetti. (Pluspetrol S.A.) - Marco Monacci. (Sol-Energy S.R.L.) –
Pablo Ortiz (Sol-Energy S.R.L.)

Sinopsis

La práctica habitual de la industria es diseñar los equipos e instalaciones ideales, que tienen poca capacidad de adaptarse al comportamiento dinámico de los campos y, menos aún, para gestionar el cambio radical de condiciones que se observa en las etapas medias y finales de la explotación de los mismos. Es decir, aquellos equipos que se montaron en las fases iniciales de las operaciones, en algún momento de la vida útil del activo, resultan inadecuados para manejarlo de manera eficiente.

Se presentan entonces, 2 escenarios posibles:

- a.- contemplar la evolución futura en el diseño inicial (solución óptima, pero poco factible)
- b.- adaptar las instalaciones existentes, incorporando equipos que “gobiernen la condición dinámica”

Este trabajo se concentrará en la segunda alternativa y detallará la manera en la que el equipo de profesionales de Pluspetrol y Sol Energy, intenta dar solución al problema de inestabilidad de los procesos en el yacimiento Ramos, debido al incremento de la producción de agua en el campo.

La experiencia adquirida nos muestra que, a medida que fue disminuyendo la presión del yacimiento, la estabilidad de las fases agua-petróleo-gas en ductos y equipos aumenta y, por ende, estas fases se separan y estratifican más rápido.

En estas condiciones, los equipos de procesos, diseñados para recibir y tratar un rango acotado de caudales de los diferentes tipos de fluidos producidos, ver reducidas drásticamente su capacidad y eficiencia. Esta situación deriva en innumerables inconvenientes operativos, que generan pérdidas de producción, reprocesos y aumentos de los “Costos de la No Calidad”, que se ven agravados por “la condición dinámica e inestable” de los sistemas de producción.

En el caso presentado, se observaban varios problemas característicos:

- Inestabilidad del oleoducto/poliducto: baches de agua, formación de burbujas, apertura de choke, etc,
- Paro de máquinas
- Inestabilidad de los procesos

Para resolverlos de manera sistémica y sustentable, el equipo se concentró en la dinámica del campo y diseñó un equipo que permita gestionar esta condición inestable, de manera eficiente y novedosa. A su vez, se han incorporado en su concepción, los criterios de automatización, que le permitan operar en las condiciones previstas a futuro, absorbiendo los cambios que el campo pueda tener en sus condiciones de flujos y caudales. Presentamos aquí este caso exitoso (aún no fue probado) de aplicación de “Diseño Eficiente”.

Introducción

El Yacimiento Ramos se encuentra ubicado en la provincia de Salta, a 70 Km. al SO de la ciudad de Tartagal, al norte de la República Argentina. Es un yacimiento del tipo Gas-Condensado con una reserva superior a 100 MM Mscm de gas.

Este campo hidrocarburífero produce el gas natural y los hidrocarburos acumulados en las areniscas cuarcíticas naturalmente fracturadas, de las formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa.

Posee catorce pozos productivos distribuidos entre los bloques Norte, Centro y Sur. Los pozos pertenecientes al bloque Norte, seis en su totalidad, son explotados por compresión en la planta compresora Norte (PCN) mientras que los restantes, son comprimidos en la planta compresora Centro (PCC). La potencia total instalada es de 38.475 BHP.

El gas producido es enviado, a través de dos gasoductos de 12 plg., hacia la planta de tratamiento de gas natural donde es acondicionado para su transporte. La planta de tratamiento recibe además, el condensado retenido en las plantas compresoras mediante dos oleoductos de 6 y 3 plg. La longitud total de la red de captación es de 396.674 mts.

La planta de acondicionamiento de gas natural está conformada por cuatro trenes de procesamiento del tipo LTS con deshidratación por Monoetilenglicol (MEG) como absorbente químico, y unidos entre sí por dos anillos que colectan el gas de las cabezas de las estabilizadoras y el gas de los separadores flash, respectivamente. Las capacidades de proceso de gas son:

- Tren A: 1.500 MSMCD
- Tren B: 2.500 MSMCD
- Tren C: 3.500 MSMCD
- Tren D: 3.500 MSMCD

Desarrollo

1. Condiciones de proceso y operativas.

Comenzaremos el desarrollo éste trabajo comentando los eventos que principalmente se suceden en la planta de tratamiento, que generan perturbaciones e impiden tener una operación estable, sobre todo en lo que respecta a la estabilización del caudal de condensado provenientes de las plantas compresoras, PCC y PCN. Las fuentes de inestabilidad que se presentan en el manejo de los líquidos de las plantas compresoras son:

- Inestabilidad del oleoducto/ poliducto: baches de agua, formación de burbujas, apertura de choke, etc.,
- Paro de máquina (PCC y/o PCN) por falla o mantenimiento programado.

Las siguientes gráficas de tendencias, evidencian las consecuencias en la operación debido a los puntos citados en el párrafo anterior:

La figura 1, muestra los efectos de los baches de agua sobre la operación de los líquidos en el separador trifásico, S-120, de la planta compresora centro, PCC. Se ve cómo, sistemáticamente, cada vez que se produce una disminución en el aporte de condensado (línea continua de color azul), se produce un aumento en el caudal de agua (línea continua de color rojo).

Más adelante, se hará un análisis de ésta realidad que se presenta en el Yacimiento Ramos.

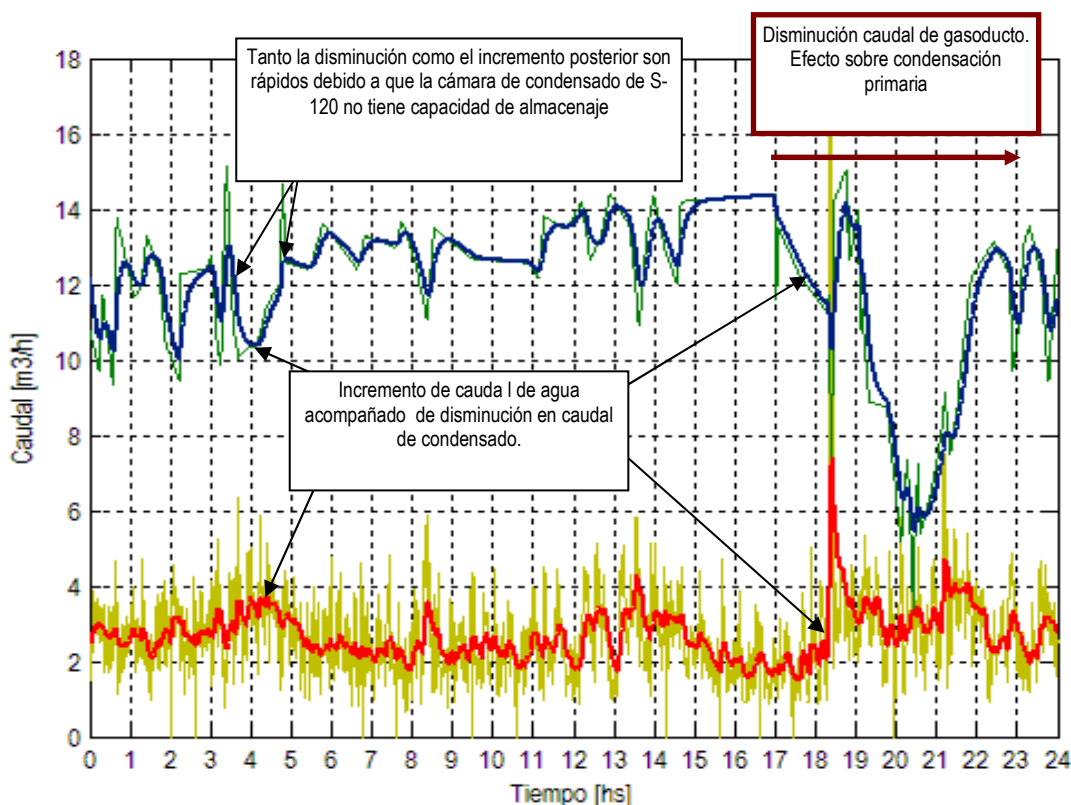


Fig. 1.- Comportamiento de los líquidos (condensado-agua) que llegan a PTG para su tratamiento.

1.1.- Batches de Agua

El problema se resume como sigue:

A medida que la presión en manifold de entrada de planta compresora disminuye se producen dos fenómenos conocidos:

- La relación Agua / Condensado crece (a principios de 2006 el promedio era 0,2, y actualmente se ubica alrededor de 0,7)
- La acción de separación de Slug-catcher mejora.

Sin embargo, dado su diseño (bifásico e inclinado), en términos de la operación del sistema de condensado constituye una clara desventaja, ya que cuando S-100 recibe un bache de agua lo descarga por su única línea de sumidero y por lo tanto, mientras lo hace no descarga condensado (o la relación Agua / Condensado durante el periodo que dura el bache es mucho más elevado que el valor normal).

Luego, dadas las características del recipiente que recibe esta descarga, el separador de salida de planta S-120, es inevitable observar que cada incremento en el caudal de agua va acompañado por una disminución en el caudal de condensado.

El efecto de recibir en la planta de tratamiento solamente agua por tiempos prolongados, genera una serie de eventos que se muestran en la figura 3 y se describen a continuación.

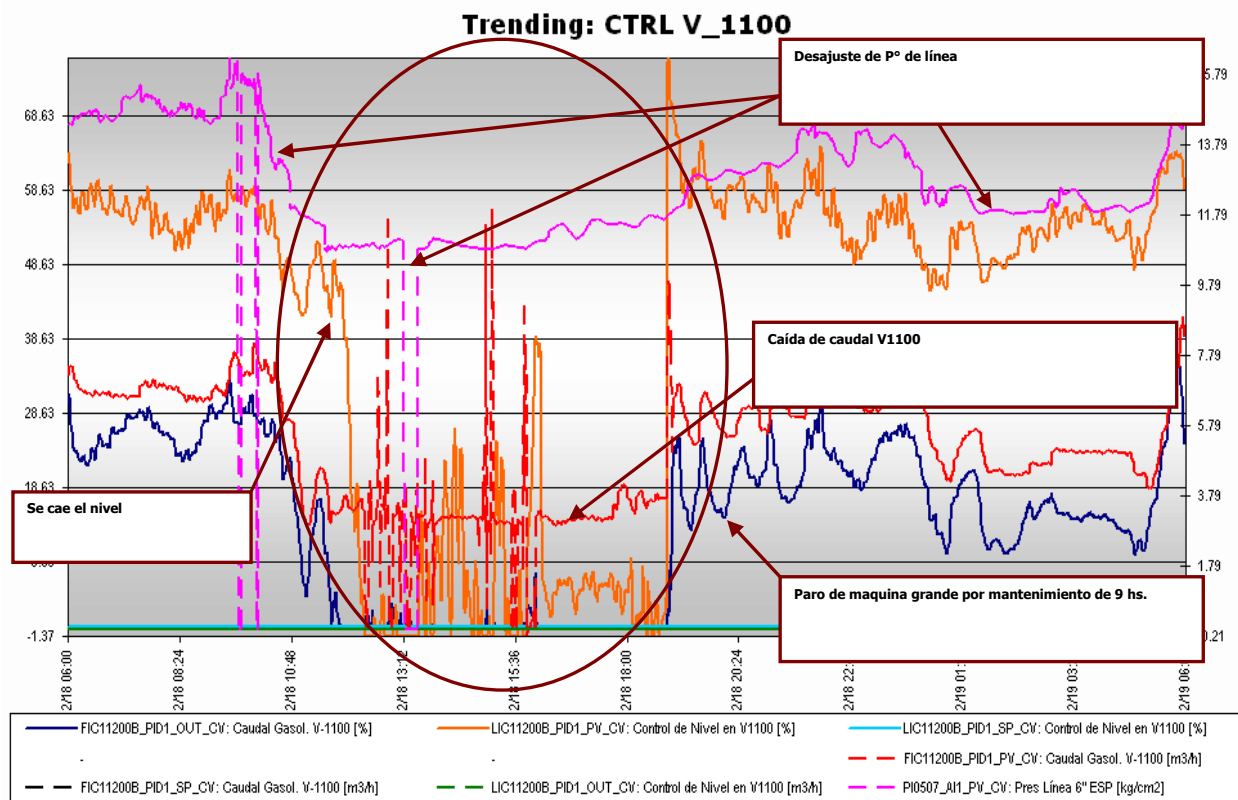


Fig. 2.- Efecto sobre la operación de los líquidos en PTG debido al paro por mantenimiento de una máquina de PCC

La figura 2 muestra el paro programado de una máquina de PCC. La máquina estuvo fuera de servicio por espacio de 9 horas. Cuando sucede esto, no sólo disminuye el caudal de gas procesado por la compresora, sino que también disminuye el caudal de condensado que llega a la planta para su tratamiento. Como consecuencia de esto, se ve en la figura 2, que la tendencia del nivel (línea continua de color naranja) cae abruptamente a cero. Eso significa que el separador trifásico, V-1100, que recibe a este líquido se vacía totalmente. Esto hace que deje de fluir condensado al segundo separador trifásico, V1801, y por lo tanto también deja de fluir condensado a la columna estabilizadora, C-1B. La consecuencia de esto es que la columna se “seca”, se produce un sobrecalentamiento con pérdida del perfil térmico y salida de especificación del producto final.

2.- Slug-Catcher tipo cañería (Pipe-type slug catcher).

Los slug catchers pueden ser separadores o bien, pueden ser construidos con cañerías, también llamados “slug-catcher tipo dedos”. Generalmente, estos últimos son más baratos que los primeros si se compara sus capacidades. Esto se debe a que el requerimiento del espesor de pared es menor para diámetros chicos.

La configuración de este tipo de slug-catcher, consta de las siguientes partes:

- Dos cañerías o “dedos” con pendientes opuestas y dos secciones diferentes: una zona de separación gas/líquido y una zona de almacenaje de líquido.
- Un colector de gas conectado a cada cañería o “dedo”

- Una línea de gas de equalización para cada cañería o “dedo”: estas líneas equalizan las presiones de la zona de separación gas/ líquido y la zona de almacenaje.
- Un colector de líquido conectado que recoge los líquidos almacenados.

Hay que hacer notar que aquí no hay separación de los líquidos (condensado-agua) y por lo tanto se debe asumir un separador trifásico adicional.

La separación gas/ líquido se produce en la primera sección de cañerías. La longitud de ésta debe promover a la generación de un patrón de flujo estratificado para producir la separación primaria. En cambio, la sección de almacenamiento debe ser lo suficientemente larga para poder manejar el máximo volumen de slug sin generar arrastre con el gas de salida.

3.- Termodinámica: comprensión del problema.

Sabemos por la experiencia adquirida en estos cuatro últimos años, que a medida que fue disminuyendo la presión de boca de pozo, la estabilidad de las fases agua-petróleo aumenta. Esto significa que cuando la presión de operación disminuye, las fases agua-petróleo se separan, se estratifican más rápido.

4.- Estrategia a implementar.

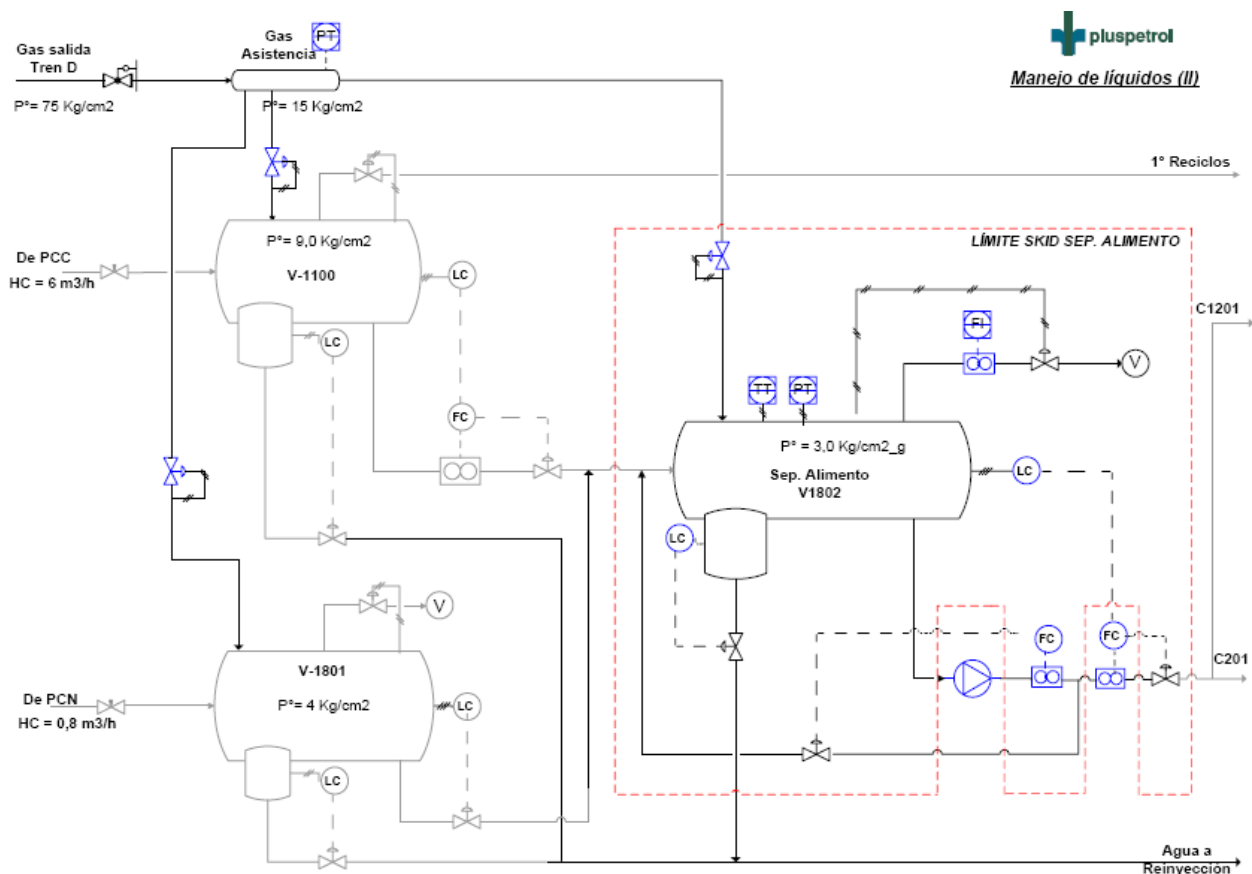


Fig. 3.- Estrategia para el manejo de líquidos de PCC y PCN en la Planta de Tratamiento de Gas.

La estrategia presentada en la figura 3, responde satisfactoriamente a los siguientes condicionantes:

1. **Declinación en la presión disponible:** El ingreso de oleoductos, acondicionando la presión disponible en **dos etapas**, se realizará directamente a las torres de estabilización.
2. **Bombeo de agua y condensado desde PCN:** PCN no dispone de un separador trifásico. Por lo tanto, el producto que se recibirá contendrá un alto porcentaje de agua. Se habilitará un separador trifásico, V-1801, para recibir este producto.
3. **Diferencia en las presiones disponibles de ambos ductos:** Debido al cambio de presión de operación solamente de PCN, las presiones disponibles serán distintas. El esquema prevé lo siguiente:

- a. Recibir los líquidos de PCC y PCN en separadores trifásicos independientes; esto es, V-1100 y V-1801, respectivamente.
 - b. Cada separador operará próxima a la presión de equilibrio de la compresora correspondiente, así, el V-1100 operará a 9 kg/cm²g y el V-1801 a 4 kg/cm²g.
 - c. El agua separada en ambos separadores será enviada a la planta de tratamiento de aguas y el condensado recogido de cada, equipo será enviado a un separador alimento, V-1802 a instalar.
4. **Asistencia con gas externo:** se propone dejar preparados los recipientes para recibir asistencia con gas de manera tal de controlar su presión de trabajo. El producto recibido estará prácticamente estabilizado y el gas generado debido al cambio de condiciones de trabajo en las planta compresoras es insuficiente para mantener un colchón de gas que permita un control aceptable de la presión. Por otro lado, permitirá ajustar las presiones diferenciales entre recipientes para mantener las condiciones operativas adecuadas para las válvulas de control de descarga de condensado.
5. **Descarga de gas de asistencia:** La línea de alivio de sobre-presión del separador V-1100, está preparada para ingresar a la primera etapa de reciclo. Sin embargo, las líneas de sobre-presión del V-1801 y del separador alimento V-1802, descargarán directamente al KOD.

Como se mencionó anteriormente, con el esquema mostrado se responde satisfactoriamente a una serie de condicionantes coyunturales, así como también a la condición final de trabajo del yacimiento. Sin embargo, la alternativa planteada tiene una serie de efectos colaterales los cuales debe encontrarse una solución apropiada si se pretende que la planta trabaje de manera estable en su condición final.

5.- Condiciones Dinámicas

Las secciones anteriores se centraron en las condiciones de proceso y operación que fuerzan, de alguna manera, a adoptar una configuración de dos etapas alimentando los oleoductos directamente a las torres.

Esta sección reseña los aspectos que completan el escenario de operación final de la estrategia.

Los aspectos que completan el diseño son simples y toman en cuenta lo siguiente:

- **Separadores Trifásicos:** Deberán realizar su trabajo correctamente. Esto es,
 - a. Ser capaces de evacuar un bache de agua evitando rebalses hacia sus respectivas cámaras de condensado.
 - b. Debido a esto, y como deberán procesar una corriente de relación posiblemente mayor a 50% entre agua y condensado, no se les puede pedir que aporten demasiado en términos de estabilidad en caudal de condensado
- **Separador Alimento:** Este recipiente recibirá únicamente condensado (aunque está preparado para recibir y desalojar el agua que los separadores trifásicos, ubicados aguas arriba, no puedan separar), y será el último equipo antes de alimentar las torres.
 - a. Se espera que aporte en términos de **estabilidad del caudal** de salida a pesar de las fluctuaciones en el caudal de alimento.
 - b. Este requerimiento debe considerarse restrictivo para la elección ya que, la salida del separador **alimentará directamente las torres**, por lo tanto, no pueden tolerarse fluctuaciones desproporcionadas si se pretende mantener la operación de las columnas bajo control óptimo.

Estas consideraciones son las que motivan la sección de equipos de proceso que se presenta en la sección siguiente.

5.1.- Selección de equipos de proceso.

Se realizó una **preselección** de los recipientes disponibles en el Yacimiento, utilizando criterios de **respuesta dinámica**.

Se manejaron las siguientes alternativas para cumplir funciones de separador trifásico de alimento:

- V-1100, actualmente con funciones de receptor (Slug-catcher) de oleoducto de PCC
- V-7, actualmente Flash de planta A/B
- S-1009, actualmente separador en pozo 1009
- V-401, separador de entrada de planta CO₂
- Filtro / Separador de entrada de planta Compresora Cornejo

Los motivos técnicos de la selección que se muestra a continuación, se presentan en la sección siguiente. Los recipientes elegidos son:

- **Separador Trifásico:** V-1100
- **Tanque de Alimento:** Separador trifásico hipotético, Tk-2, de 16 m³
- **Tanque de Alimento:** Separador V-401 de Planta CO₂ o hipotético, TK-3, de volumen similar (20 m³) en el caso que, finalmente, el separador V-401 no sea disponible.

6.-Tanque de Alimento

En esta sección se demuestra la necesidad de contar en planta PTG con un “Tanque de Alimento” de características diferentes al que tiene el recipiente actualmente en funciones, V-1100, que permita no tan sólo acondicionar la presión de la corriente a procesar sino absorber las variaciones de caudal de condensado que **inefectiblemente** genera la operación de planta PCC y PCN.

6.1.- Bases de Diseño

Para que un recipiente pueda absorber variaciones de caudal en su entrada manteniendo su **descarga relativamente constante** necesita disponer de una **capacidad** de almacenamiento que le permita mantener un **desbalance de masa** por un **determinado tiempo** sin que por esto comprometa su normal funcionamiento; es decir, no debe permitir rebales ni vaciamientos.

La clave del diseño está en conocer las **perturbaciones** que se pretenden absorber (duración y magnitud). Estas son las que determinan el tiempo que se debe mantener un desbalance y por lo tanto la capacidad que debe tener el tanque: sabemos que durante el tiempo que dura el desbalance el **tanque integra la diferencia**, acumulando o desalojando el excedente, y como resultado se obtiene una diferencia en el nivel.

Lo que se pretende no es mantener un caudal de salida constante sino **minimizar la velocidad con que este cambia a la salida del recipiente**.

Es inútil pensar en mantener un caudal constante, el diseño sería desproporcionado e inviable económicamente. Como puede verse más adelante (Ver. Especialmente la tendencia del día 3), un cambio de régimen donde el oleoducto pasa de un caudal inferior a uno superior por un periodo prolongado generaría problemas aún con un recipiente de proporciones considerables.

Luego, el tipo de perturbación (regular, periódica, esporádica, etc.) determina más que nada el tipo de estrategia de control a implementar, no tanto la capacidad del tanque.

6.2.- Operación y Capacidad Incremental

Normalmente se considera a un recipiente según su **capacidad total**.

Sin embargo, para operar como **tanque de alimento** deben hacerse las siguientes consideraciones:

- Para lo que corresponde el diseño habitual, esto es tanques **cilíndricos horizontales**,
 - a. El **área de superficie** del recipiente **no es constante** (Es máxima en el centro del tanque y disminuye hacia arriba y debajo de línea central)
 - b. Por lo tanto, la **capacidad incremental o diferencial** (El volumen contenido en una unidad de nivel) es **máxima** en la línea central y disminuye a medida que nos alejamos de esta línea.

Luego, un tanque slug-catcher está correctamente operado si la consigna de trabajo se establece en el 50% del nivel real y en este punto descarga el promedio de largo plazo del caudal de entrada.

Esto le permite ofrecer la mayor capacidad de absorción cuando el caudal es mayor o menor al promedio (Ej: Actualmente el promedio en oleoducto de PCC se ubica en el entorno de 5,5m³/h con variaciones +/- 5m³/h a lo largo del día).

De la misma manera, en **operación normal** tampoco se puede pretender aprovechar el 100% del volumen del tanque:

- Los instrumentos que son sensores de nivel, normalmente tienen un rango de trabajo limitado que por lo general no coincide con el desarrollo completo de la escala real (Ej: Actualmente en V-1100 se presentan problemas cuando la medición del radar supera el 73%, se da vuelta, o disminuye de 20%, se “freeza”, de la escala del instrumento)
- Si la operación normal utiliza el 100% del rango, el esquema es **poco robusto**. Cualquier condición **anormal** (Ej. Baches de mayor magnitud a lo acostumbrado) ocasiona problemas

(Rebalse o desagote total) requiriendo demasiada asistencia manual con la diversidad de maniobras que esto ocasiona.

Luego, una configuración adecuada debe considerar como **rango útil de trabajo**: el comprendido entre el 25% y 75% de nivel y configurar la estrategia de control de acuerdo a estos límites

6.3- Preselección.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se realizó una preselección del recipiente necesario.

El criterio utilizado fue muy sencillo:

- Se consideraron las siguientes perturbaciones:
 - ✓ Batches de agua (como consecuencia condensado)
 - ✓ Paros imprevistos de compresores.
 - ✓ Paros previstos de compresores
- Se tomo en consideración la simultaneidad de perturbaciones debidas a PCC y PCN
- Se utilizó como criterio de evaluación la capacidad del recipiente para mantener el caudal de descarga constante por periodos que van de ½ hora a 1 ½ hora. Esto es, evitar sobrepasar los límites 25%,75% de nivel.

De esta manera, se estableció que el recipiente adecuado debía superar los 16 m³ de capacidad.

De esta manera quedaron **desestimados como Tanques de Alimento**:

V-1100, actualmente con funciones de receptor (Slug-catcher) de oleoducto de PCC

V-7, actualmente Flash de planta A/B

S-1009, actualmente separador en pozo 1009

Filtro / Separador de entrada de planta Compresora Cornejo.

Notar que, el equipo actualmente con función de slug-catcher, V-1100, no aprueba el criterio de selección. Las simulaciones que se presentan en la sección siguiente tienen como objetivo optimizar el criterio de preselección, esto es, considerando la dinámica de la respuesta real se considera poder reducir el tamaño del diseño adoptando un compromiso claro entre las prestaciones deseadas del recipiente, las mínimas aceptables y el equipo asequible según los recursos del yacimiento.

6.4.- Selección Final basada en Simulaciones Dinámicas

6.4.1.- Equipos comparados

Considerando los comentarios presentados en las secciones 5.1 y 6.3, estudio comparativo quedó reducido al siguiente grupo:

Identificación:	V-1100	TK-2	TK-3
D [mts]:	1,02	2	1,727
L [mts]:	5	5	8,3
Vol Total [m3]:	4,09	15,71	19,44
Vol: 25% < Nivel < 75% (Oper Normal):	2,49	9,57	11,84
Vol: Nivel < 25% + Nivel > 75% (Oper Anormal):	1,60	6,14	7,60

Sobre la tabla anterior vale hacer los siguientes comentarios:

- **Identificación:** Es la usada en todas las gráficas y comparativas que se utilizan en adelante.
- **Dimensiones:** Diámetro (D) y Largo (L) son las que se utilizan en las simulaciones
- **Capacidad Total:**
 - a) El valor mostrado es el calculado para un tanque cilíndrico despreciando la capacidad de los cascos.
 - b) Esta **aproximación** se utiliza en las simulaciones.
 - c) Es correcta ya que la diferencia en el desempeño entre uno y otro recipiente está en el área de superficie y esta no se ve afectada significativamente por el área de superficie de los cascos.
 - d) Para corregir la aproximación utilizada se supone al área cilíndrica un poco más larga que la real. De esta manera, se corrige la capacidad del recipiente sin afectar de manera significativa el comportamiento incremental o diferencial.

- **Volúmenes incrementales:** En la tabla se agregan los volúmenes contenidos entre los siguientes rangos:
 - a) **25% a 75%:**
 - i. Este es el volumen que se considera **utilizable** en operación normal. Esto es, el rango donde se puede permitir que el nivel fluctúe de manera de suavizar el comportamiento del caudal de salida.
 - ii. Puede observarse que el **porcentaje utilizable** respecto del total es $\approx 61\%$. Se verifica que este porcentaje depende de la geometría del recipiente (**cilíndrico y horizontal**) y no de sus dimensiones
 - b) El volumen que queda **fuera del rango utilizable en operación normal**,
 - i. Esto es, con el nivel por debajo de 25% y por encima de 75%. Estos rangos se consideran los volúmenes para slugs o cortes de suministro poco habituales. Son los que determinan la robustez en la operación
 - ii. Puede observarse que el **porcentaje en este rango** respecto del total es $\approx 39\%$.

6.4.2.- Dinámica y Control

El modelo de simulación dinámica desarrollado para este trabajo tiene dos características destacables

6.4.2.1.-Recipiente de Geometría Real.

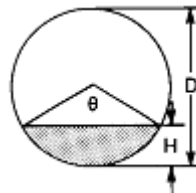
El modelo considera la geometría de un tanque cilíndrico horizontal.

Esta es una condición necesaria para poder extraer conclusiones convincentes a partir de la simulación ya que cuando el recipiente trabaja como slug-catcher se permite que el nivel fluctúe y por lo tanto ninguna aproximación alrededor del punto de equilibrio es válida.

Se desprecia la presencia de los cascós.

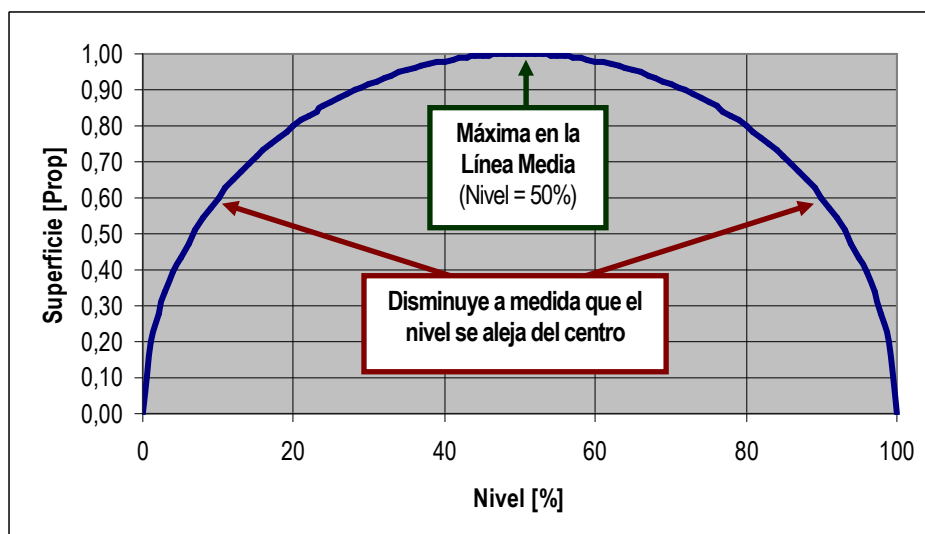
Se considera un tanque cilíndrico y horizontal equivalente con largo algo mayor al de la sección cilíndrica real

Matemáticamente, el modelo ajusta el área de superficie de acuerdo al nivel de acuerdo con la siguiente fórmula:



$$\text{Proporción Superficial} = S_{\text{prop}} = \text{seno} \left(\arccos \left(1 - 2 \cdot \frac{\text{Nivel}[\%]}{100} \right) \right)$$

Gráficamente



6.4.2.2- Lazo cerrado de control

El modelo no supone un caudal de descarga constante.

El caudal de descarga se controla de la siguiente forma:

- Configuración en **Cascada** donde:
- **Controlador Primario:**
 - a) **Nivel**
 - b) Ecuación: **Proporcional** únicamente.
 - i. Criterio: objetivo principal es evaluar el desempeño de los recipientes, no de los controladores. Además
 - ii. Se sabe que el controlador proporcional es el que ofrece comparativamente menor velocidad de cambio en la salida de caudal, que justamente es lo que se requiere.
 - iii. Por último, para los periodos diarios evaluados, el ajuste de Bias necesario no es significativo
 - c) Set-point: 50%
 - d) Ganancia constante.
 - i. No se incorporaron adaptaciones no lineales de ganancia. El objetivo principal es evaluar el desempeño de los recipientes, no de los controladores
 - ii. Valor: 0,83. Calculado por la relación 20 – 80% de Nivel: 5 – 15m³/h de Caudal de descarga (El transmisor de caudal se supone configurado con un rango 0 – 20 m³/h, por lo tanto se tiene una relación OUT/IN = 50%/60% = 0,83).
 - iii. Nótese que se utiliza el mismo para cada recipiente. Esto permite comparar exactamente la capacidad de cada una como amortiguador de las perturbaciones en la entrada
- **Controlador Secundario:**
 - a) Caudal
 - b) Su presencia dinámica se desprecia. Esto es, se supone que tiene acción perfecta e inmediata
 - i. Sigue exactamente la especificación de Setpoint que le indica el controlador primario.
 - ii. Lo hace instantáneamente.
 - iii. No se presentan problemas dinámicos o de saturación en la válvula de control. Esto es, puede desagotar el caudal requerido sin problemas
 - c. Estas suposiciones no son en absoluto irrealizables.
 - i. En general, los esfuerzos se centran en la válvula de control y el transmisor de caudal de manera tal que la presencia del lazo de caudal pueda ignorarse.
 - ii. Actualmente en V-1100 no se cumplen estos requisitos y sin embargo el desempeño global de la configuración en cascada se puede considerar aceptable (aunque optimizable)

En estas condiciones pueden compararse las prestaciones de cada recipiente.

Lo que se compara es la respuesta que tienen ante la presencia de la misma perturbación.

6.4.3 Entradas: Perturbaciones

Construido el modelo este puede perturbarse con diferentes **señales de prueba**.

El simulador utilizado permite el ingreso de **señales muestreadas** (sampled data) lo cual es absolutamente conveniente, ya que en lugar de utilizar señales prefabricadas se puede excitar el modelo con casos reales.

De esta manera, para desarrollar el estudio comparativo se realizó primero un **análisis exploratorio** de los reportes operativos de campo y **se eligieron tres días representativos** de la dinámica a la que deberá responder el tanque de alimento en el futuro.

Sobre las secuencias temporales ingresadas al modelo vale hacer las siguientes aclaraciones:

Se consideró el caudal de salida de S-120 de PCC. La misma es representada en las gráficas siguientes con una línea continua de color verde.

En lugar de emplearlo directamente se lo procesa utilizando un filtro EWMA (exponentially weighted moving average) de peso $\lambda = 0,1$. Esta Señal es representada con la línea continua de color azul. Como puede observarse, el empleo del filtro quita ruidos y variaciones de alta frecuencia dejando inalteradas las variaciones a largo plazo que son las de real interés en el estudio que nos compete.

El uso de esta señal es una condición más demandante que la real, ya que no considera el efecto de capacidad del propio oleoducto (Esto puede verificarse correlacionando la señal de salida actual de V-1100 con la respuesta del modelo. En el caso real los retrasos observados son del orden de 40 min, en cambio en el modelo son del orden de 15 min)

Sin embargo, esta condición se compensa con la certeza que la condición futura será más demandante que la actual por las siguientes razones:

Relación agua condensado creciente. Lo que implica baches más prolongados.

Por lo tanto, excitar el modelo con la señal indicada es un buen indicador de las exigencias a las que deberá responder el recipiente en el futuro.

6.4.4.- Salidas: Indicadores de desempeño

En apartado 6.7 Apéndice: Simulaciones Dinámicas, se muestran las salidas numéricas (gráficas) del simulador de las siguientes variables:

- Nivel
- Caudal
- Gradiente de Caudal – 1 Hora
- Gradiente de Caudal – 15 minutos.

Las dos primeras tendencias corresponden a los puntos de vista habituales del proceso y pueden configurarse en las pantallas de supervisión en sala de control de planta.

En particular, la gráfica de caudal de entrada y salida permite darnos una idea del efecto suavizador que tiene el recipiente de gran tamaño vs. el recipiente disponible en la actualidad (V-1100). Sin embargo, la relación entre ambos caudales no es útil como indicador de la mejora relativa.

Como se describe en la sección 6.1 Base de diseño, durante un cambio de régimen donde el oleoducto pasa de un caudal inferior a uno superior por un periodo prolongado cualquier tanque sea pequeño o grande debe alcanzar el balance de masa si no se pretenden problemas (rebalses o desagotes). Esto es, **no tiene sentido pretender caudal de salida constante**.

Luego, la diferencia entre un tanque de poco volumen y otro de gran volumen estará en el tiempo en que puede soportar un desbalance hasta que indefectiblemente alcance el balance necesario.

Para evaluar la diferencia en las prestaciones en estos términos se deben **comparar los cambios** recibidos (**entrada** de caudal) vs. cambios entregados (**descarga** de caudal)

Sin embargo, no tiene sentido evaluar **cambios instantáneos** (derivadas), estos serán nulos o infinitesimales

Los cambios que debemos evaluar son aquellos relacionados con los **tiempos del proceso**

Por esta razón se introducen dos gráficas no habituales:

- **Gradiente de Caudal – 1 Hora:** Se calcula en cada punto comparando el valor actual con el valor de la señal exactamente 1 hora atrás. El resultado es una señal continua
- **Gradiente de Caudal – 15 minutos:** Se calcula de la misma manera que el anterior pero calculando la diferencia con el valor $\frac{1}{4}$ hora atrás.

Las razones de estas elecciones son simples:

- **1 Hora:**
 - a. Es una unidad de medida a la que estamos acostumbrados.
 - b. Nos permite visualizar claramente la acción de suavización de cada uno de los recipientes.
 - c. Técnicamente, Es superior a todos los tiempos de estabilización verificados cuando se construyeron los modelos de planta en ocasión de la puesta en marcha de GMAXC.
- **1/4 Hora:**
 - a. El valor de este intervalo se genera de acuerdo a la experiencia acumulada durante el proyecto de control avanzado y optimización.
 - b. Es el parámetro real de evaluación de los recipientes
 - c. Durante la puesta en marcha de GMAXC se pudo observar lo siguiente:
 - i. Si el caudal de salida de V-1100 se lograba estabilizar de manera tal que no se observaran velocidades de cambio superiores a $1 \text{ m}^3/\text{h} / 15 \text{ min}$, los lazos realimentados de control de temperatura de los fondos de las columnas lograban mantener la variable de proceso en un entorno $\pm 1^\circ\text{C}$ alrededor del Set-point. Es decir, podían considerarse bajo control.
 - ii. Frente a estas perturbaciones GMAXC debe ajustar las consignas de trabajo (acción de feedforward). Dentro de este rango de variación los controladores logran un buen seguimiento de Set-point.

- d. En resumen: Variaciones de caudal de $\pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ / 15 min es condición necesaria para mantener la **TVR de gasolina estabilizada bajo control**.

Técnicamente, se debe requerir que el tanque de alimento no genere nunca variaciones de salida superiores a $1 \text{ m}^3/\text{h}$ / 15 min en cualquier condición de operación normal, Esto incluye:

- Paros de compresores programados y no programados y
- Batches de agua.

Todas situaciones habituales.

Por esta razón la siguiente sección donde se resumen los resultados de todas las simulaciones incluye el máximo diario de este parámetro como criterio de evaluación.

Puede verificarse que **V-1100 no aprueba** el criterio en ninguno de los días simulados.

6.5.- Comparativa de desempeños

Día	Análisis Entrada			Análisis de salida					[%] Fo/Fi V-401 vs. Fo/Fi	
						V-1100	Tk-2	V-401	V-1100	Tk-2
Día 1	Absoluto [m3/h]	Máx	14,36	Absoluto [m3/h]	Máx	14,34	14,11	14,03		
		Mín	5,47		Mín	6,17	8,13	8,53		
		Rango	8,89		Rango	8,17	5,98	5,50		
	Gradiente [m3/h] / [Tiempo]	Máx / [h]	6,60	Gradiente [m3/h] / [Tiempo]	Máx / [h]	5,20	2,96	2,67		
		Máx / [1/4 h]	3,35		Máx / [1/4 h]	1,60	0,84	0,74		
				Relación Fo/Fi [%]	Rango	91,9	67,3	61,9	67,30	91,89
					Máx / [h]	78,9	44,9	40,5	51,31	90,20
					Máx / [1/4 h]	47,7	25,2	22,2	46,54	88,15
				Calificación		NO	SI	SI		
Día 2	Absoluto [m3/h]	Máx	14,91	Absoluto [m3/h]	Máx	14,65	13,90	13,77		
		Mín	6,89		Mín	7,73	8,45	8,52		
		Rango	8,02		Rango	6,92	5,45	5,25		
	Gradiente [m3/h] / [Tiempo]	Máx / [h]	4,58	Gradiente [m3/h] / [Tiempo]	Máx / [h]	3,36	2,06	1,83		
		Máx / [1/4 h]	3,64		Máx / [1/4 h]	1,33	0,60	0,53		
				Relación Fo/Fi [%]	Rango	86,2	67,9	65,5	75,93	96,39
					Máx / [h]	73,5	45,0	40,0	54,39	88,90
					Máx / [1/4 h]	36,4	16,6	14,5	39,94	87,55
				Calificación		NO	SI	SI		
Día 3	Absoluto [m3/h]	Máx	14,27	Absoluto [m3/h]	Máx	13,90	12,71	12,53		
		Mín	2,97		Mín	4,31	6,36	6,73		
		Rango	11,29		Rango	9,59	6,35	5,80		
	Gradiente [m3/h] / [Tiempo]	Máx / [h]	8,47	Gradiente [m3/h] / [Tiempo]	Máx / [h]	6,17	2,68	2,19		
		Máx / [1/4 h]	6,22		Máx / [1/4 h]	2,98	0,94	0,79		
				Relación Fo/Fi [%]	Rango	84,9	56,2	51,4	60,51	91,43
					Máx / [h]	72,8	31,6	25,8	35,48	81,73
					Máx / [1/4 h]	47,9	15,1	12,7	26,54	83,94
				Calificación		NO	SI	SI		

Como se puede observar, la tabla comparativa de la sección anterior confirma los resultados de la preselección.

La consideración de las condiciones dinámicas reales ajusta la apreciación de las prestaciones del recipiente en el sentido que, según estas pruebas, el equipo supera el evento de un paro prolongado de compresor en PCC.

En cuanto al recipiente TK-3 de 20 m³, tanto la planilla comparativa, como las gráficas del apéndice nos muestran cuanto aporta con respecto del tanque de 16 m³.

De los días seleccionados, el más demandante en términos de variaciones rápidas de entrada es el Día 3. En este período se pueden verificar gradientes máximos de ¼ hora:

- Entrada: 6,22 m³/h / ¼ h
- Salida:
 - a. V-1100: 2,98 m³/h / ¼ h. No supera la prueba.
 - b. TK-2: 0,94 m³/h / ¼ h. Mejora ostensiblemente el desempeño de V-1100. Sin embargo se ubica cerca del límite máximo aceptable.
 - c. V-401: 0,79 m³/h / ¼ h. Es claramente el mejor. Reduce los gradientes originales a un 12,7% de su magnitud. Supone una mejora del 16% respecto de TK-2.

En resumen, en días relativamente estables el aporte del TK-3 no es tan significativo respecto de TK-2 (siempre lo es respecto de V-1100). Sin embargo, en días “movidos” su presencia es importante.

Por último, vale volver a remarcar lo siguiente:

- Se puede esperar como resultado de la presencia del recipiente una **reducción importante en los gradientes de caudal** de salida respecto de la entrada (El promedio de los días seleccionados muestra una reducción de 64,5% en los gradientes horarios y un 83,5% en los de ¼ de hora)
- Sin embargo, lo que **no se puede requerir** del recipiente es **caudal de salida constante**. Las gráficas de **nivel** muestran que el **lazo de control aprovecha todo el rango** disponible para operación normal (define la sintonía). Esto significa simplemente que si se mantuviera el caudal de descarga sin ajustes graduales ocurrirían rebalses y desagotes totales en todos los periodos operativos

6.6.- Estrategia de Control

La siguiente lista tiene el carácter de **especificación funcional** y sus tópicos deben considerarse como **recomendaciones** a tener en cuenta si se pretende aprovechar convenientemente las prestaciones de nueva estructura de proceso:

Requerimientos del Nuevo Equipo:

- a. Diseñar un stand-pipe lateral de desarrollo 0-100% preparado para recibir un radar de onda guiada tanto para la cámara de agua como para la cámara de condensado.
- b. Prever una entrada para alimentarlo con gas para mantener la presión operativa.

Sensor de Nivel:

- a. Como se menciona más arriba, es necesario con un transmisor que permita aprovechar toda la capacidad del recipiente

Medición de Caudal:

- a. Debe instalarse un cuadro de medición que ofrezca una medición estable sin pulsaciones.

Esta es una condición necesaria para poder aprovechar las características de amortiguador que ofrece el recipiente

Válvula de descarga:

- a. Se sugiere instalar una válvula con electroposicionador.

Control de Carga de Torres:

- a. El control de caudal a cada una de las torres es algo que debe atenderse y que deberá analizarse en detalle una vez definida la configuración final de proceso.

El objetivo es evitar cualquier diferencia en la presión entre equipos que generen una redistribución de las cargas.

Asistencia con gas:

- a. El separador de alimento, deberán disponer de asistencia externa para mantener una presión de trabajo estable.
- b. Se recuerda que si no se asiste su presión quedarán sujetas a los vaivenes de las descargas de los separadores V1100 (que recibirá el condensado de PCC) y del V1801 (que recibirá los líquidos, agua-condensado, de PCN). Las interacciones serían severas, un problema en PCC afectaría no solo a PTG sino a PCN.

Apéndice: Simulaciones Dinámicas

Las gráficas que se muestran a continuación corresponden a las salidas del simulador dinámico luego de ser excitado con las entradas de caudal de los días seleccionados.

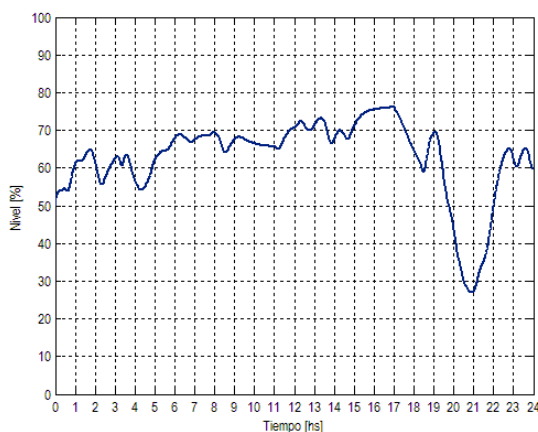
- Para cada día se muestran las salidas gráficas correspondientes a cada uno de los tanques comparados:
 - a. V-1100.
 - b. TK-2.
 - c. TK-3
- Para cada tanque se presentan cuatro (4) salidas gráficas:
 - a. Nivel.
 - b. Caudal de Entrada y Salida.
 - c. Gradiente de Caudal de Entrada y Salida. Periodo una (1) hora.
 - d. Gradiente de Caudal de Entrada y Salida. Periodo un cuarto de (1/4) hora (15 minutos).
- En cada gráfica la entrada se presenta en color azul y la salida correspondiente en color rojo (Ej: Caudal de Entrada: Azul y Caudal de Salida: Rojo)

Las razones por la cuales son los tres recipientes mencionados los simulados y la elección de los cuatro criterios de evaluación se establecen en la sección 6.4 Selección final basada en simulaciones dinámicas”

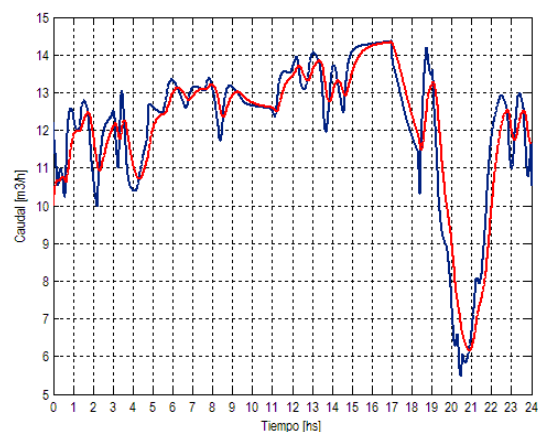
El resumen y comparativa de todos los resultados mostrados a continuación se presenta en la sección 6.5 Comparativa de desempeños.

Día 1

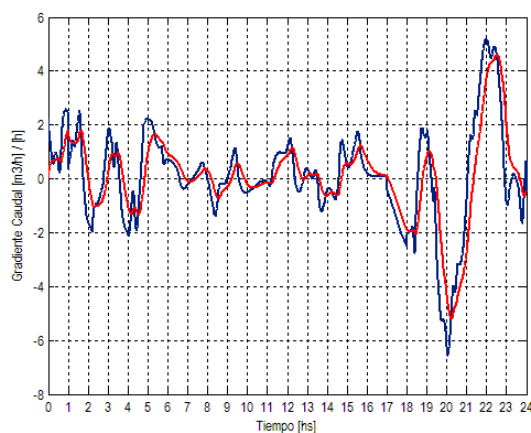
Desempeño V-1100



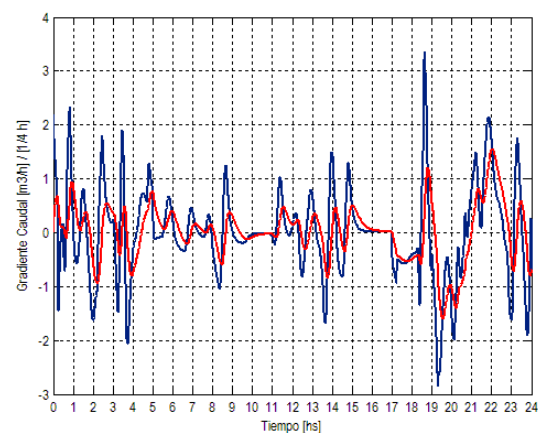
Nivel



Caudal

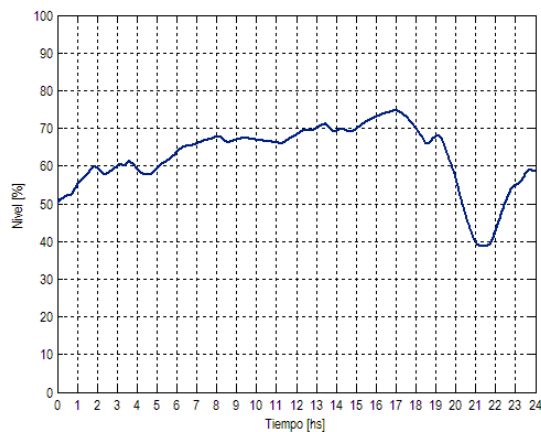


Gradiente de Caudal – 1 Hora

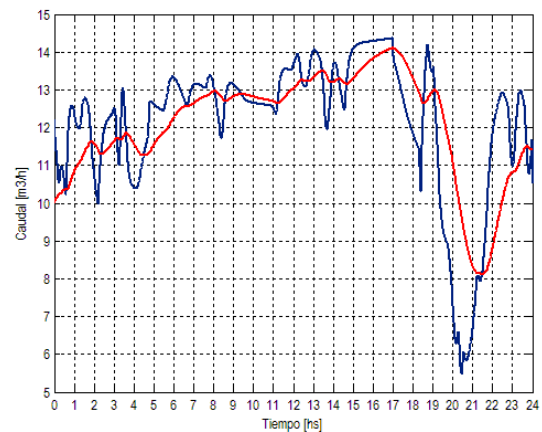


Gradiente de Caudal – 15 minutos

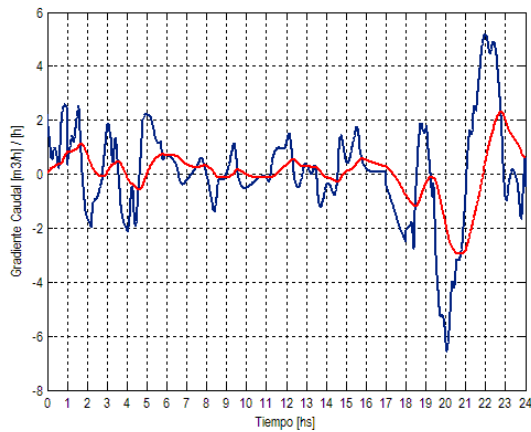
Desempeño TK-2



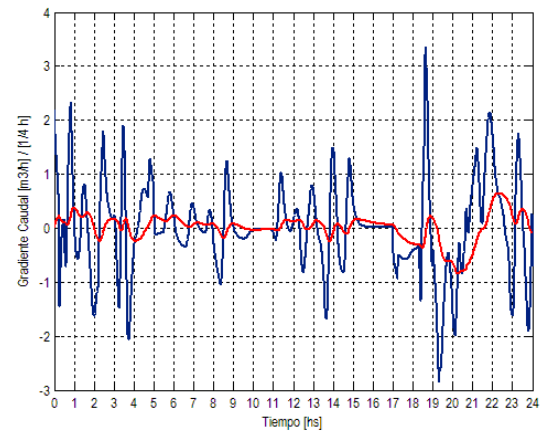
Nivel



Caudal

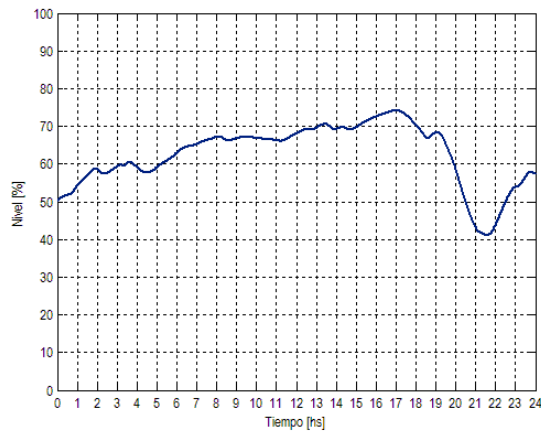


Gradiente de Caudal – 1 Hora

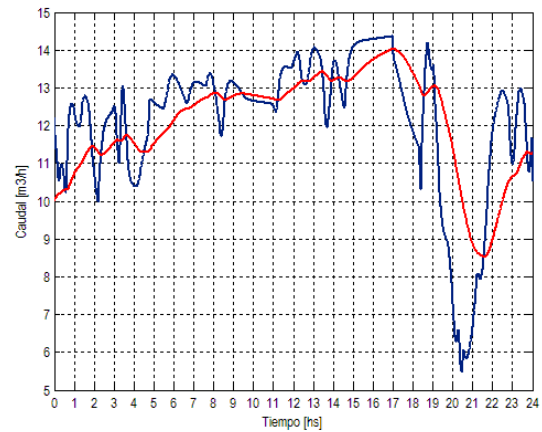


Gradiente de Caudal – 15 minutos

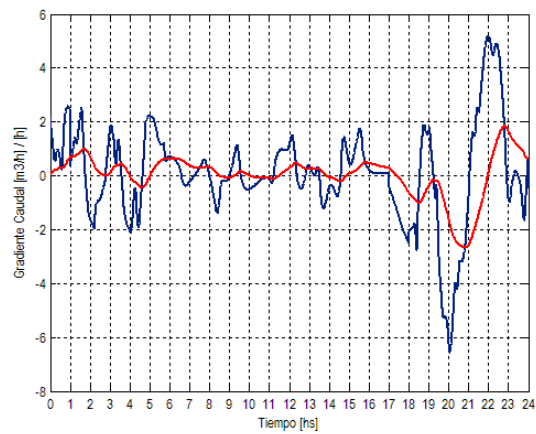
Desempeño TK-3



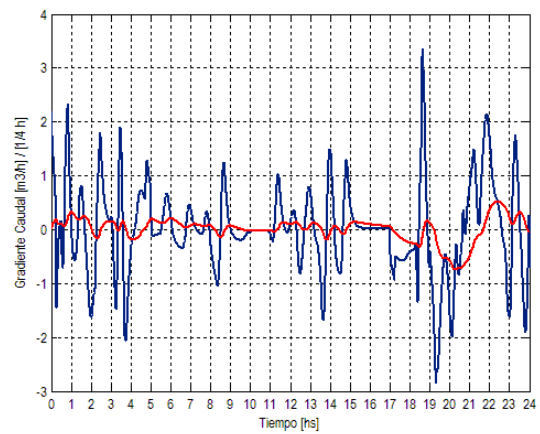
Nivel



Caudal



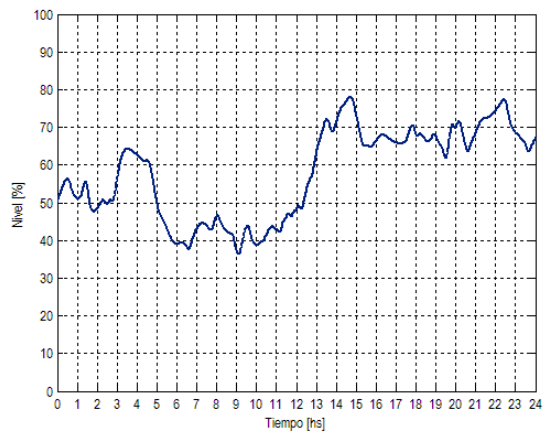
Gradiente de Caudal – 1 Hora



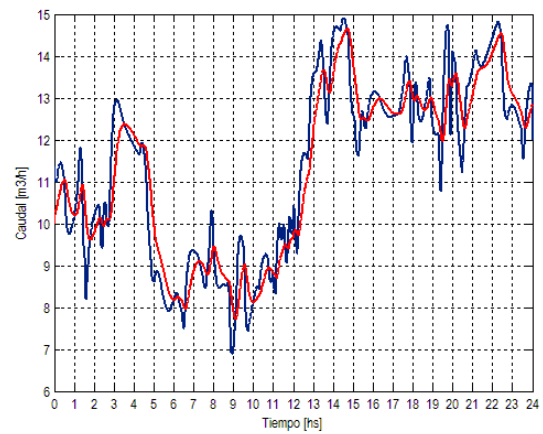
Gradiente de Caudal – 15 minutos

Día 2

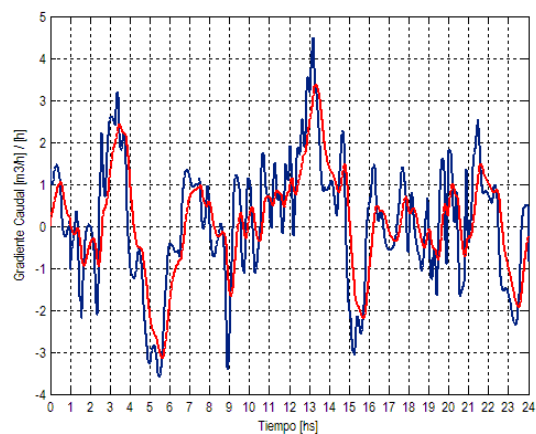
Desempeño V-1100



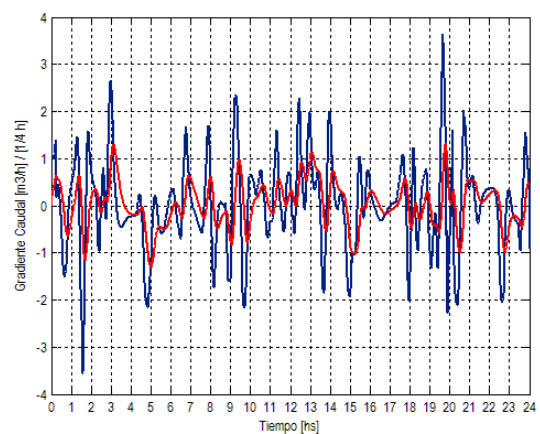
Nivel



Caudal

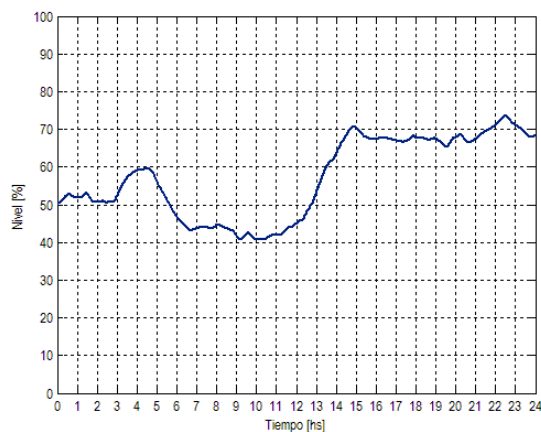


Gradiente de Caudal – 1 Hora

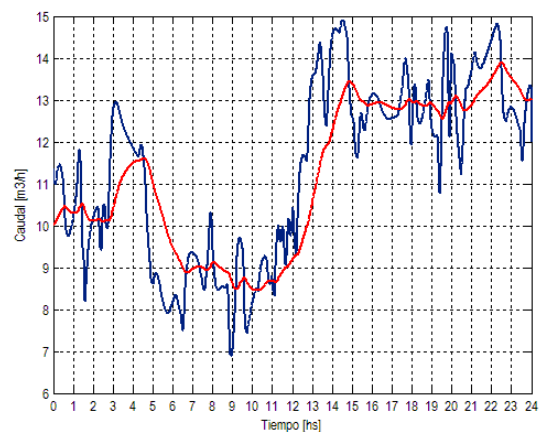


Gradiente de Caudal – 15 minutos

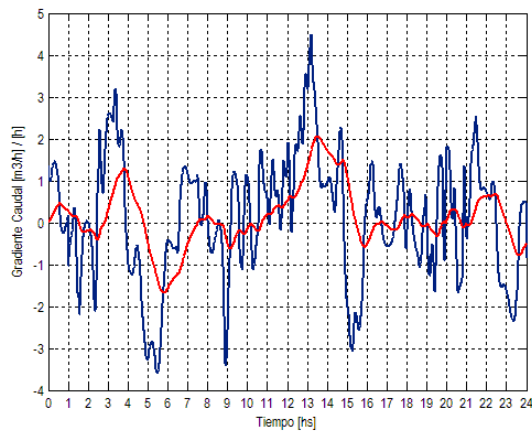
Desempeño TK-2



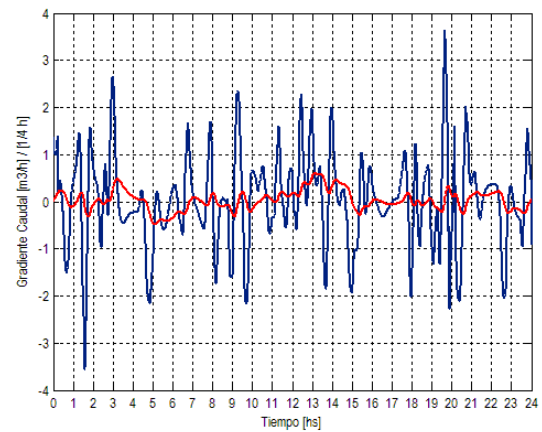
Nivel



Caudal

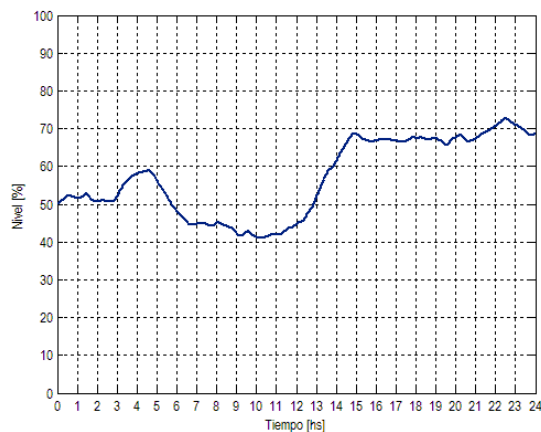


Gradiente de Caudal – 1 Hora

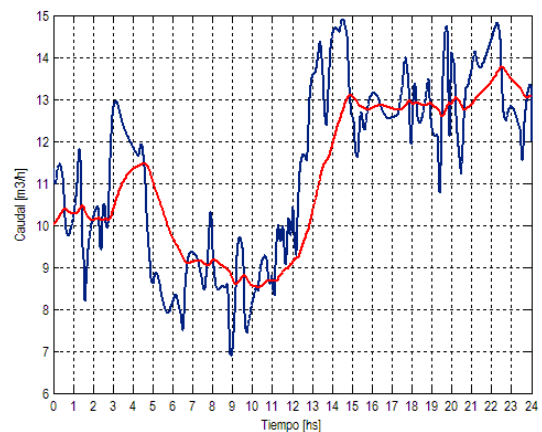


Gradiente de Caudal – 15 minutos

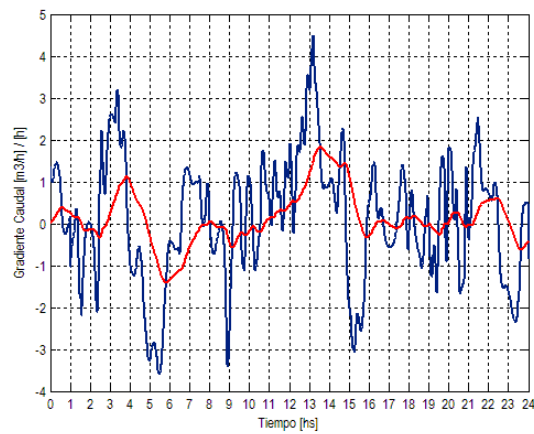
Desempeño TK-3



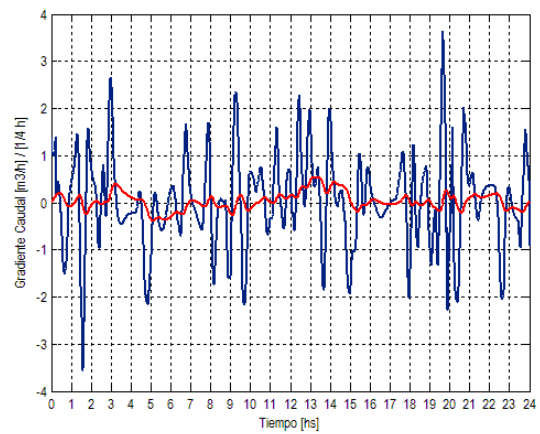
Nivel



Caudal

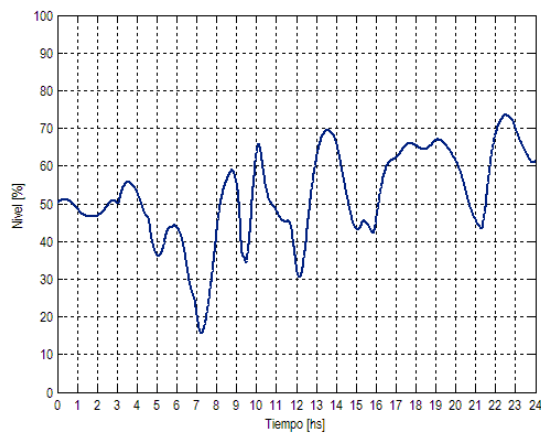


Gradiente de Caudal – 1 Hora

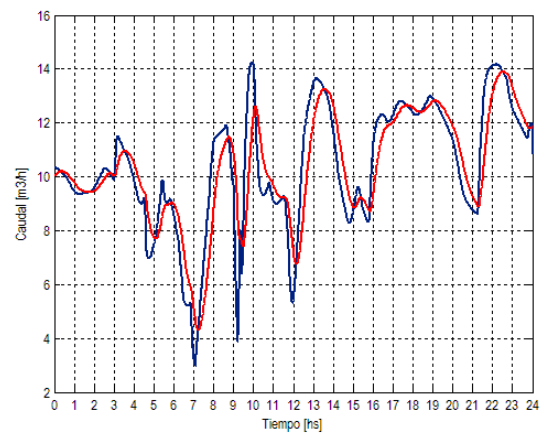


Gradiente de Caudal – 15 minutos

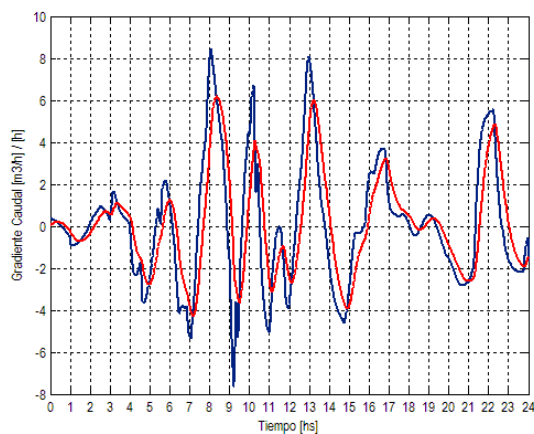
Día 3 Desempeño V-1100



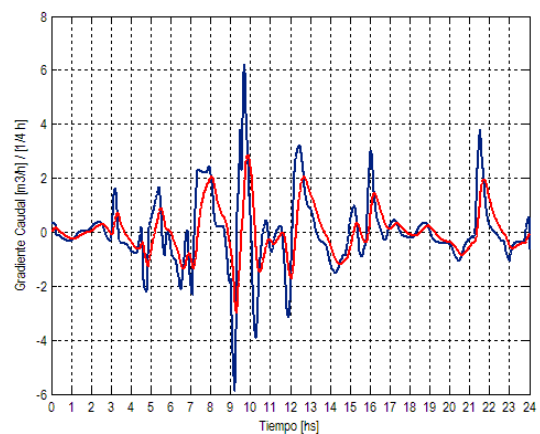
Nivel



Caudal

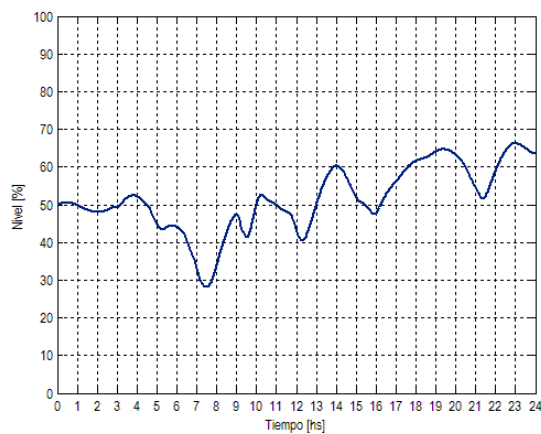


Gradiente de Caudal – 1 Hora

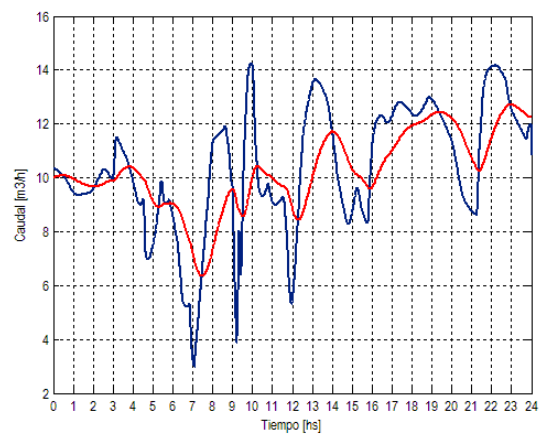


Gradiente de Caudal – 15 minutos

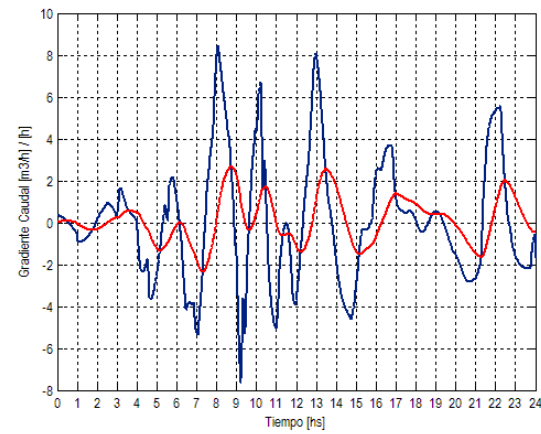
Desempeño TK-2



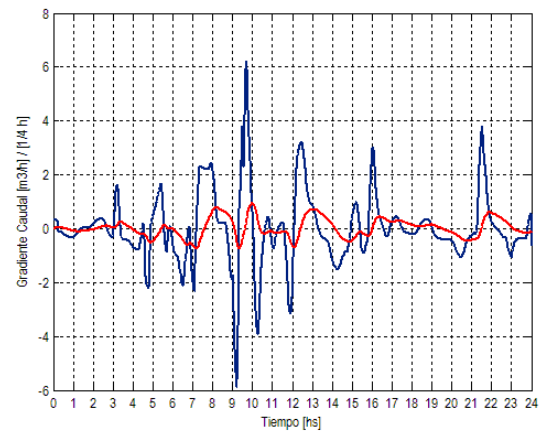
Nivel



Caudal

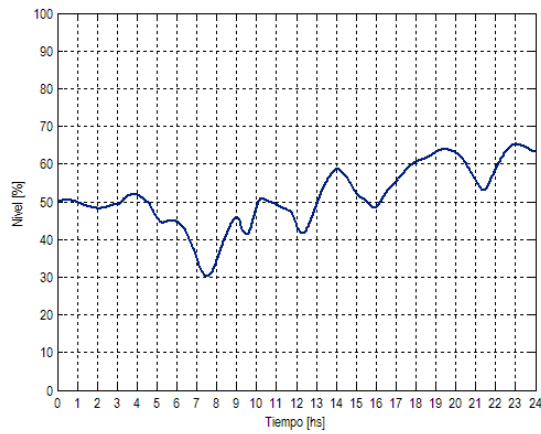


Gradiente de Caudal – 1 Hora

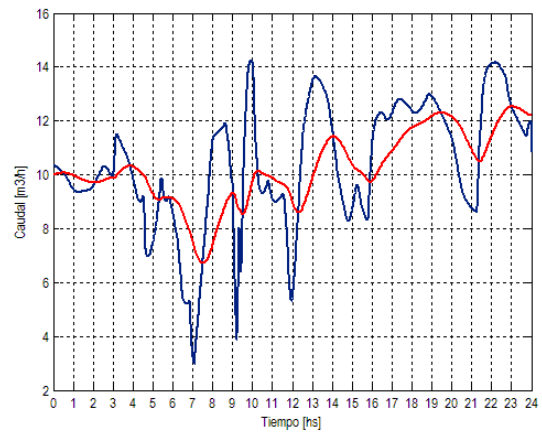


Gradiente de Caudal – 15 minutos

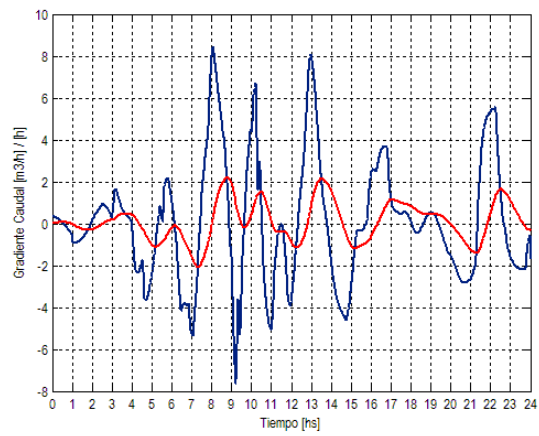
Desempeño TK-3



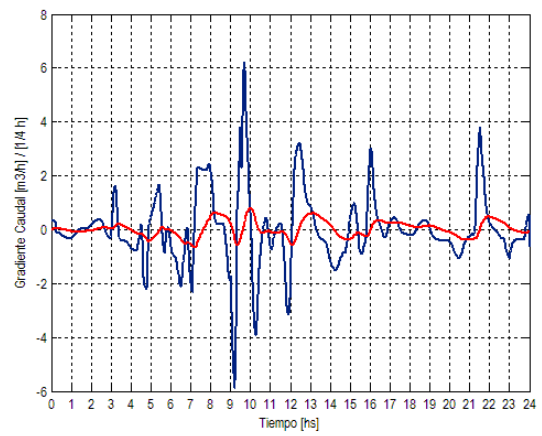
Nivel



Caudal



Gradiente de Caudal – 1 Hora



Gradiente de Caudal – 15 minutos

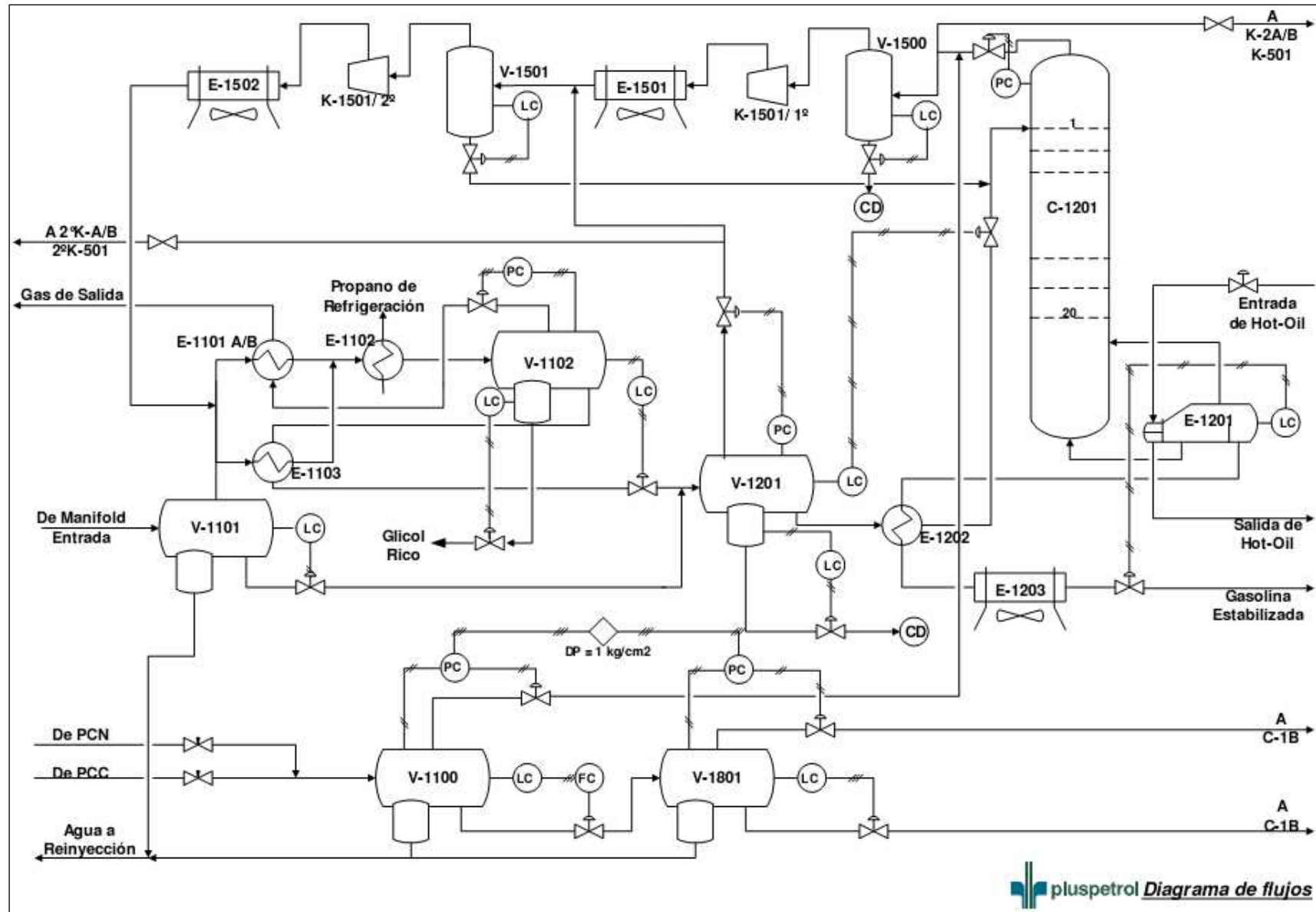


Figura 4.- Diagrama de flujo del proceso LTS. Planta de Gas. Yacimiento Ramos. Pcia. Salta. Argentina.

Conclusiones

Se estudiaron en detalle las características dinámicas del aporte de líquidos (condensado y agua de producción) de las plantas compresoras PCC y PCN a la planta de tratamiento del yacimiento Ramos. Se observó que, debido a la estratificación del flujo en las líneas de conducción, se presenta un comportamiento dinámico inestable, que le resta eficiencia de los equipos ubicados aguas abajo de los separadores.

Por ello se realizó un estudio de performance de distintos modelos de equipos de separación, con el objetivo de seleccionar el que mejor desempeño presentara en función de los requerimientos específicos del proceso en cuestión.

Dicho estudio se efectuó empleando datos reales de planta (señales muestreadas), lo que resulta ser muy conveniente debido a que verifica el desempeño del equipo de manera virtual, frente a las mismas exigencias a las que deberá responder en el futuro, durante las operaciones habituales. El producto de este análisis, es el equipo definido como “más eficiente” para gobernar la condición oscilatoria observada en el yacimiento.

Se lograron así, capturar los beneficios de un enfoque dinámico en el proceso de diseño y selección de un equipo de separación, por sobre los criterios tradicionales, de uso común en la industria. En estos últimos, con frecuencia, no se tienen en cuenta las características específicas del proceso del que el separador formará parte, su evolución en el tiempo, y las contingencias de la operación.

El objetivo final, es el gobierno de la variabilidad de las entradas de fluidos del campo, con la intención de que los procesos aguas debajo de este recipiente, sean lo más estables y sustentables posibles, y los equipos trabajen en su punto óptimo.

Bibliografía

- S. M. WALAS, *Chemical Process Equipment - Selection and Design*, Butterworth - Heinemann Series in Chemical Engineering, Newton MA, 1990.
- Sergey E. Lyshevski, *Engineering and Scientific Computations Using MATLAB*, Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey, 2003.