

**Sahara Simulador de Mallas de Inyección**  
**Ventana Coeficientes de Distribución: metodología**  
**CRM para inicializar coeficientes de inyección**

## Modelos Capacitivos Resistivos (CRMs)

El modelo CRM (*Capacitance Resistive Model*) fue presentado por Yousef *et al* (2005), para cuantificar la comunicación entre pozos durante operaciones de recuperación secundaria basado en los caudales de inyección y producción. El mismo tiene en cuenta efectos capacitivos (compresibilidad) y resistivos (transmisibilidad). Además, este modelo provee parámetros que indican la atenuación y el retraso en la respuesta entre pares productor inyector. Por cada par productor - inyector se determinan dos parámetros: uno para cuantificar la conectividad y otro que cuantifica el grado de almacenamiento de fluido entre pozos (constantes de tiempo, *Taus*). Los coeficientes de conectividad en CRMs representan la fracción de agua inyectada en estado estacionario que contribuye a la producción en cada productor conectado. Existen distintas versiones de CRM dependiendo del volumen de control estudiado. Cuando se estudia el volumen de drenaje alrededor de un pozo productor, el método se denomina CRMP. Esta es la versión del método implementada en Sahara.

El método CRMP se utiliza en el simulador de mallas de inyección de Sahara como un método de asignación de los coeficientes de distribución de la inyección a lo largo del tiempo. Las conectividades de los CRMs pueden ser interpretadas como los coeficientes de distribución en el tiempo del simulador de mallas de inyección y sólo se requieren los datos de inyección y producción como datos de entrada. Además, las constantes de tiempo de los CRMs simulan el retraso en la respuesta en el productor debido a la inyección. De esta manera, podemos obtener simultáneamente los coeficientes de distribución areal de la inyección (para cada elemento de flujo) y una estimación del tiempo de respuesta (para cada pozo productor), basados en la historia de producción.

La implementación del modelo CRMP en el simulador de mallas de inyección de Sahara es una implementación multicapa - multietapa. El modelo se ajusta utilizando como datos de entrada las inyecciones a nivel de capa y las producciones a nivel de pozo. Los coeficientes cambian en el tiempo conforme la dinámica de los elementos de flujo teniendo en cuenta, además, la información de los datos de inyección – producción.

## Condiciones de uso de la metodología

La metodología aquí propuesta para la inicialización de los coeficientes de distribución areal de la inyección depende únicamente de los datos de inyección y producción ingresados. Para obtener buenos resultados a partir de la misma es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- *Datos de inyección por capa*: la inyección asignada en cada capa para cada pozo inyector es considerada como un pozo inyector individual al que denominamos “Inyector Capa”. Por

lo tanto, la medición o estimación de la alocaación de la inyección por capa debe ser tenida en cuenta al evaluar la calidad de ajuste.

- *Datos de producción*: los datos de producción que se utilizan para el ajuste son las producciones mensuales de líquido de secundaria a nivel de pozo productor. Para calcular este líquido de secundaria se resta la producción de primaria ingresada del líquido total. Por lo tanto, la calidad de la estimación de la producción primaria puede ser importante para evaluar el ajuste.
- *Alta periodicidad de cambios en las mallas de inyección*: el continuo cambio de dinámica en las mallas de inyección puede generar situaciones en las que se generan elementos de flujo que duran muy poco tiempo. Estos casos pueden generar anomalías cuando se estudia la evolución temporal de los coeficientes en el tiempo.
- *Huecos en los datos de inyección – producción*: la falta de datos en la historia de producción produce la generación de una mayor cantidad de etapas para un par productor - inyector capa aumentando la periodicidad de los cambios en las mallas.

## Flujo de trabajo para el ajuste de líquido utilizando CRMP

1. Se generan los elementos de flujo para cada par productor - inyector en cada capa a lo largo de la vida de un proyecto de recuperación secundaria. Se parte de las mallas “dibujadas” en el proyecto.
2. Se calcula el volumen poral de los elementos de flujo. El método CRMP no tendrá en cuenta elementos de flujo con volumen poral igual a cero.
3. Se elige la opción CRMP en la ventana Coeficientes de Distribución

Coeficientes de distribución areal de inyección	
Operación	Inicializar Coeficientes
Método de Distribución	CRMP
<b>CRMP - Opciones Avanzadas</b>	
Taus	Desconocido
Tau Max	12
Iterar sobre solución base	<input type="checkbox"/>
Estabilización matriz	Automática
Valor MuF/MuID	1
Procesamiento de Coeficientes	Cortar sólo sin datos de Iny
Rellenar huecos de producción	<input type="checkbox"/>
Máx Meses sin actividad	3

Inicialización de Coeficientes  
Este procedimiento calcula los coeficientes de distribución areal de la inyección para cada elemento de flujo, en función al método seleccionado y las capas y fechas indicadas.

Aplicar Cancelar

## Opciones CRMP

### Taus

- *Desconocido*: significa que los taus son una incógnita y el algoritmo los va a identificar junto con los coeficientes de distribución de la inyección.
- *Tau Max*: por *default* está establecido en 12 meses. Este parámetro fue incorporado debido a que se observaron inestabilidades cuando los Taus son muy grandes. Tau = 12 está dentro de los valores esperados para los proyectos estudiados. El valor es editable.
- *Entrada*: significa que los taus son dato de entrada (el mismo valor para todos los pozos) y el algoritmo sólo va a identificar los coeficientes de distribución de la inyección.

### Iterar sobre solución base

Por default no está seleccionada. Se obtiene una solución que consume poco tiempo de cálculo y es ideal para definir los parámetros para la identificación. Cuando se selecciona esta opción el algoritmo trata de mejorar la identificación optimizando sobre los taus. La solución obtenida siempre es mejor o igual que la obtenida sin iterar, pero en algunos casos puede ocurrir que no produzca mejora.

### Estabilización Matriz

Cuando se resuelve el problema inverso de la identificación de coeficientes en modelos CRMP (minimización de la función objetivo), internamente se resuelve un sistema matricial que debe estar bien condicionado para que el mismo se pueda resolver. Cuando el algoritmo desarrollado se aplica en proyectos reales de recuperación secundaria aparecen problemas operativos que generan malos condicionamientos de la matriz y el sistema resultante es irresoluble.

Muchas veces los caudales de inyección por capa no están disponibles a partir de mediciones independientes y los mismos deben ser inferidos a partir del caudal en boca de pozo, distribuyendo este caudal en las distintas capas en porcentajes siguiendo algún criterio. En estos casos (en los que se aloca la inyección por capa y los caudales son proporcionales entre sí para las capas de un mismo pozo inyector) no hay suficiente información y las ecuaciones se vuelven linealmente dependientes, por lo tanto, el sistema no se puede resolver.

Otra circunstancia bajo la cual se obtiene un problema mal condicionado es cuando los datos de producción por etapa no son suficientes para la reconstrucción. Estas situaciones son comunes en proyectos con muchos cambios en la dinámica de las mallas.

Para resolver estos casos se adicionaron dos parámetros al algoritmo:  $\mu_F$  y  $\mu_{ID}$ . Los mismos permiten corregir malos condicionamientos de la matriz resultante durante la minimización de la función objetivo:  $\mu_F$  agrega restricciones al problema para convertirlas en las ecuaciones faltantes del sistema:  $\mu_{ID}$  distorsiona el sistema matricial. Esto permite obtener una de las soluciones posibles para los coeficientes respetando el ajuste de los caudales de líquido a nivel de pozo productor. Bajo estas circunstancias, la metodología permite acelerar el proceso de ajuste histórico de líquido pero requiere análisis y validación en detalle por parte del ingeniero.

La estrategia recomendada para correr el algoritmo de identificación es la siguiente:

- a. Se corre el algoritmo con  $\mu_F = 0$ ,  $\mu_{ID} = 0$ . Esto nos da la primera idea de la calidad de los datos del proyecto.
- b. Si no corre y se genera un informe de presencia de colinealidades o matrices mal condicionadas debidas a la falta de información se vuelve a hacer la corrida con  $\mu_F > 0$ ,  $\mu_{ID} = 0$ . De esta manera podemos ver si el problema se resuelve con la incorporación de restricciones al sistema.
- c. Si no fuera suficiente, se rehace la corrida con  $\mu_F > 0$ ,  $\mu_{ID} > 0$ .

Durante la etapa de validación del algoritmo se hicieron pruebas para determinar el rango de valores de  $\mu_F / \mu_{ID}$  que permiten dar solución al sistema matricial resultante sin alterarlo considerablemente. Se pueden probar valores entre (0.0001 – 10) sin problemas. El valor por default es 1 para los dos parámetros. Esto asegura la resolución del sistema en tiempos razonables.

La opción *Estabilización Matriz* en modo *Automático* genera este proceso automáticamente con los valores de  $\mu_F / \mu_{ID}$  ingresados. Los dos parámetros toman el mismo valor en el proceso automático. La opción *Manual* permite realizar corridas con valores específicos de los parámetros de estabilización.

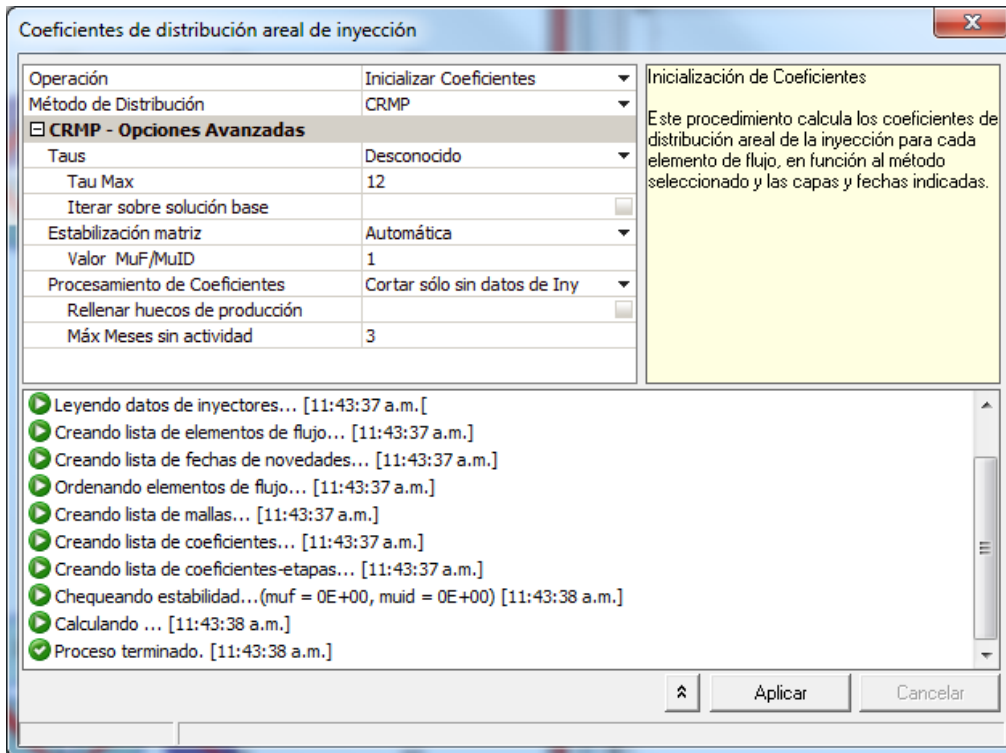
## Procesamiento de Coeficientes

Este paso se ocupa de determinar la secuencia de coeficientes en el tiempo que van a ser identificados a partir de los datos de producción (coeficientes y constantes de tiempo).

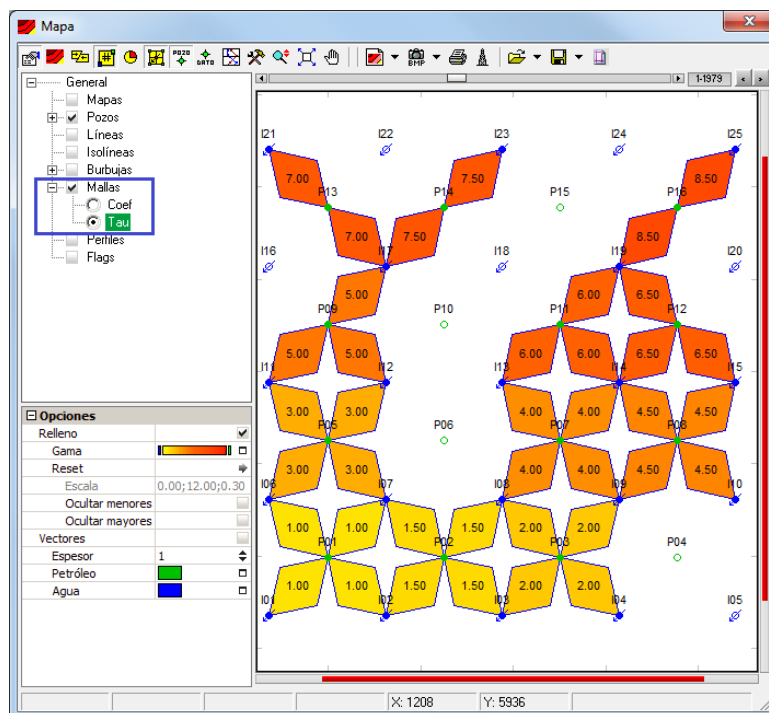
Durante el procesamiento se realizan los siguientes pasos:

- a. Se descartan los elementos de flujo que no tienen ningún valor de caudal en toda la vida del elemento.
- b. Se resta la producción primaria del líquido total y se descartan los elementos que queden sin líquido de secundaria asociado.
- c. Se estudian los caudales de inyección a nivel de capa y producción de secundaria a nivel de pozo. Los criterios utilizados son los siguientes:
  - Los coeficientes se calculan sólo a partir de la fecha en que cada inyector - capa tiene inyección de agua (a nivel de capa). Si la inyección en la capa se interrumpe por *Máx Meses sin actividad* (por default = 3 meses) o más, el coeficiente se vuelve cero hasta que eventualmente se recupere la inyección en la capa.
  - Para la producción se presentan dos opciones:
    - *Cortar sin datos de Iny/Prod*: esta opción es análoga a la estrategia descrita para los caudales de inyección por capa. Los elementos quedan con coeficiente cero hasta la primera fecha con dato de producción. Lo mismo ocurre si los datos de producción terminan antes que la vida del elemento. Si la producción del pozo se interrumpe, los coeficientes se vuelven cero si los huecos en la producción son de *Máx Meses sin actividad* o más.
    - *Cortar sólo sin datos de Iny*: en esta opción el período para la identificación de coeficientes es el intervalo de vida de un elemento de flujo donde hay inyección en esa capa. Si faltaran datos de producción al principio o al final del período de vida del elemento donde hay inyección los mismos quedan en cero. Lo mismo ocurre en el caso en que la producción se interrumpa. Adicionalmente, esta alternativa presenta la opción *Rellenar huecos de producción*, en cuyo caso, los huecos en la producción se rellenan con el dato inmediato anterior o posterior según corresponda.

El botón Aplicar iniciará el cálculo de procesamiento e identificación de coeficientes CRMP con las opciones seleccionadas. Es posible desplegar un cuadro donde se reporta el avance del cálculo. Es posible cancelar la identificación utilizando el botón Cancelar.



Tanto los coeficientes como los taus calculados se pueden ver como datos de Elementos de Flujo seleccionando la opción correspondiente en el mapa.



4. Una vez obtenidos los coeficientes de distribución areal de la inyección y los taus se procede a realizar la simulación. La identificación de los coeficientes y taus según CRMP se realizan para el escenario de inyección y las opciones Primarias de cálculo seleccionadas en la ventana Datos de Cálculo.

The screenshot shows the 'Datos de Cálculo' window with the following settings:

- Opciones de cálculo:** Curva de Llenado | Curva Característica | Inyección
- Método de Cálculo:**
  - Flujo Segregado
  - Curva Característica (Eficiencia volumétrica: 1.0000)
  - Buckley-Leverett ( Fwi > 0)
  - CGM
  - Método WOR:  $10^a (a + b * Np/N)$  (a: 0.1000, b: 1.7500)
  - Usar Curva de Llenado
- Escenario de resultados:** CRMSim
- Escenario de inyección:** Historia
- Cálculo:**
  - Año de finalización del cálculo: 2000
  - Calcular todas las capas
  - Sólo las capas seleccionadas (Wid Máximo: 5.0)
- Límites Económicos:**
  - Usar Límites ( Sólo en pronóstico)
  - qo min[m³]: 1.00
  - WLR[%]: 98.5
- Sat. Inicial de Elementos:**
  - Wid
  - So
  - de Capa
  - dato esporádico
  - dato esporádico interpolado ( Sólo del pozo productor)
- Datos de Cálculo:**
  - de Capa
  - de Regiones de cálculo ( Viscosidad de agua variable, Variable: [dropdown])
- Primarias de cálculo:**
  - de Pozo
  - de Capa
  - Cortar la primaria al inicio de la secundaria
  - No cortar primaria al inicio de la secundaria
  - Cortar primaria sólo en los períodos en que hay secundaria
- Tiempo de respuesta:**
  - Usar
  - Constante [meses]: 0
  - Ponderado por Volumen
  - Poral [m³/mes]: 0.0
  - CRMP

Para tener en cuenta los taus calculados en el cálculo del líquido es necesario seleccionar la opción CRMP en la sección de Tiempo de Respuesta de la ventana Datos de Cálculo.