INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

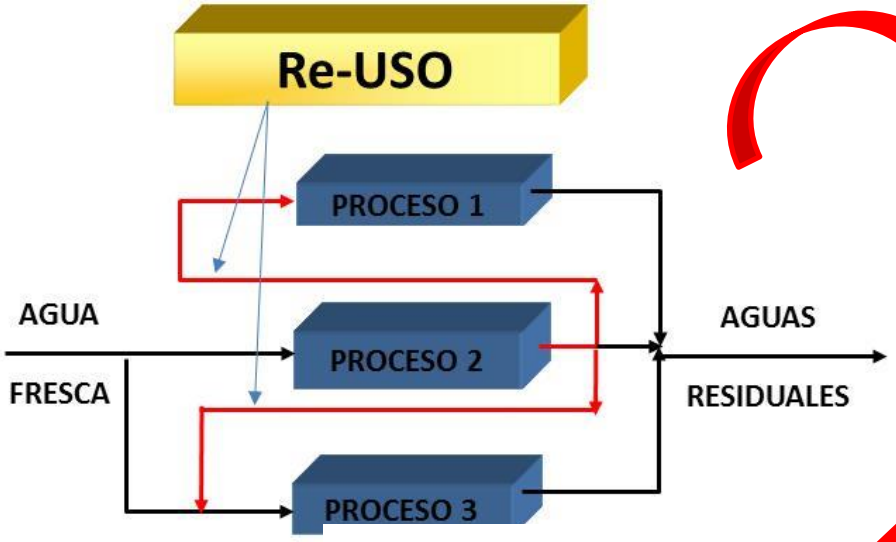
Ahorro y uso de agua en refinería y complejos industriales a través de la optimización económica.

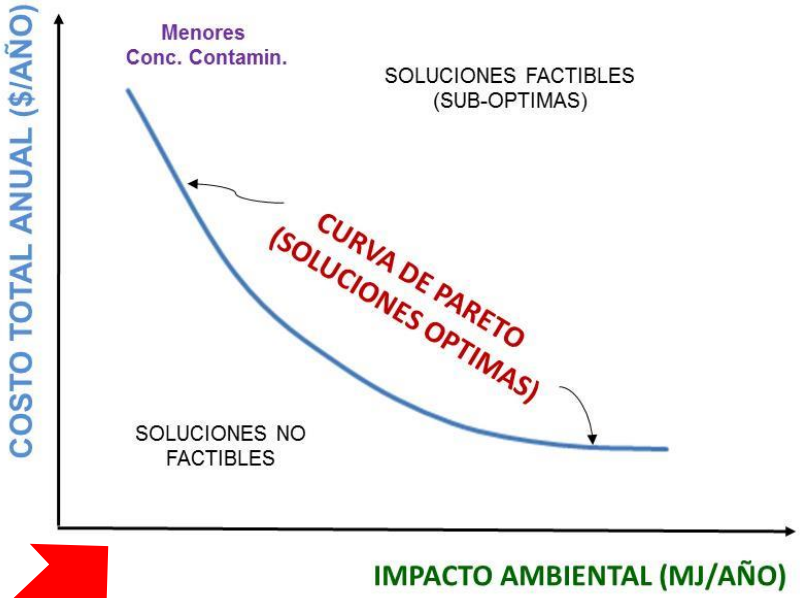
CONTENIDO

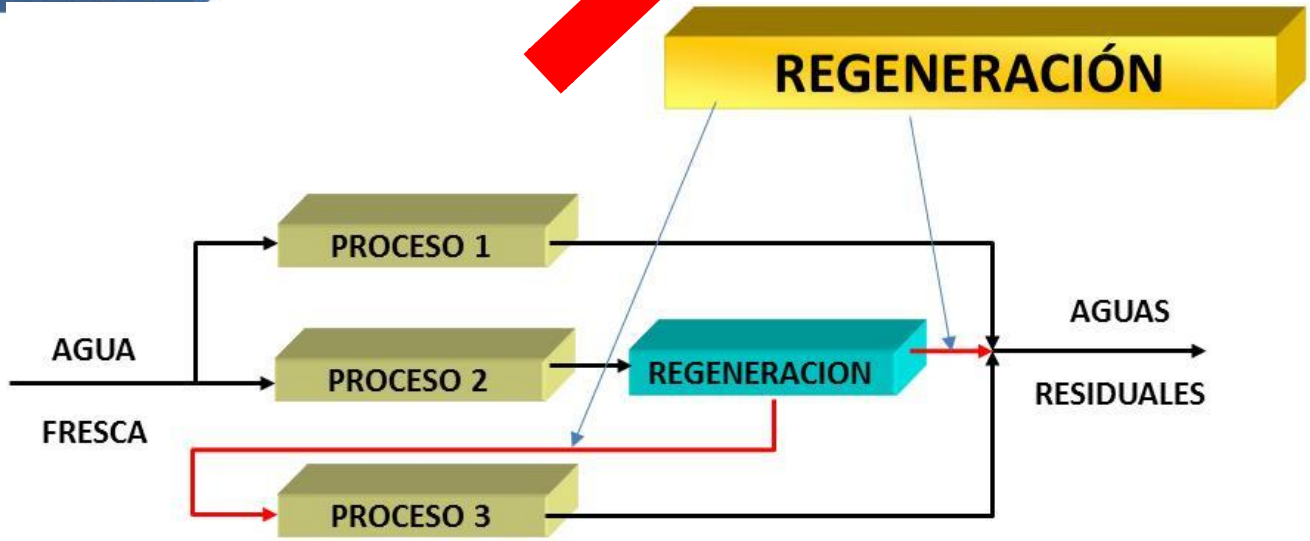
1	Que es la **optimización de redes de agua**
2	**Que es y que características tiene AGUARED** *"Optimizador del uso de redes de Agua para complejos industriales" desarrollado por el IMP*
3	**Fundamentos del Modelo de Optimización** en el que se basa la herramienta.
4	**Ejemplo de optimizaciones económicas,** visualizando los beneficios de la herramienta en el ahorro de agua fresca.

¿QUE ES LA OPTIMIZACIÓN DE REDES DE AGUA?

TENDENCIAS DE AHORRO DE AGUA







INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Que es y que características tiene

AGUARED

"Optimizador del uso de redes de Agua para Complejos Industriales"

AGUARED

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Es un software para el:

Análisis de redes de agua cuya aplicación puede ayudar a:

- **Abatir el consumo de agua fresca (de primer uso)**
- **Reducir la generación de agua de desecho**
- **Reducir los costos de agua**
- **Determinar la inversión necesaria para alcanzar un objetivo específico**

Usa tecnología avanzada para identificar la mejor oportunidad para:

- **Re-uso de corrientes**
- **Regeneración**
- **Tratamiento**

Además del beneficio que conlleva el ahorro de este recurso natural tan escaso y valioso en el país.

Fundamentos del Modelo de Optimización en el que se basa la herramienta.

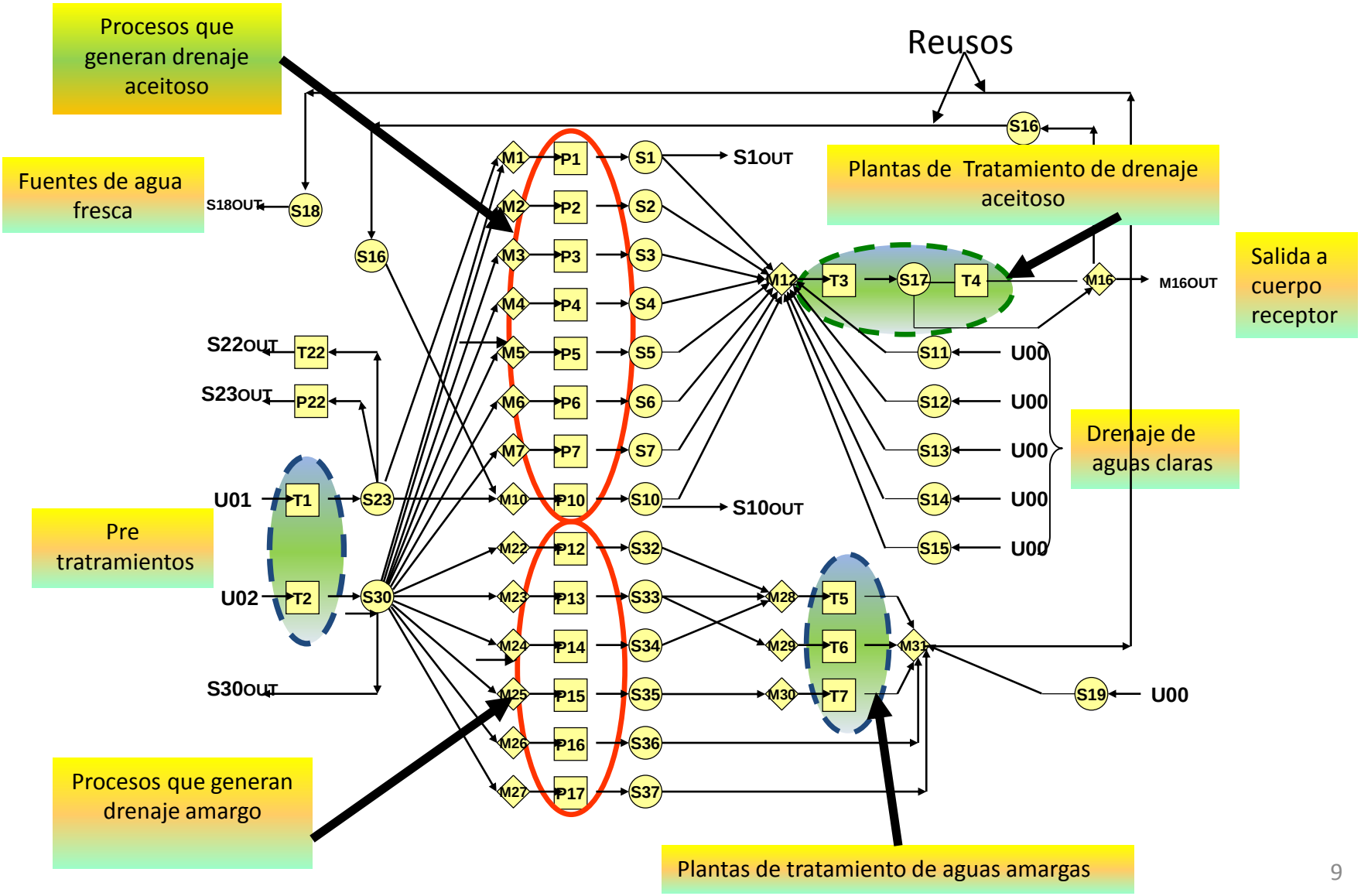
OBJETIVO

Determinar de manera optima el flujo y la composición de contaminante para cada corriente en la red de agua.

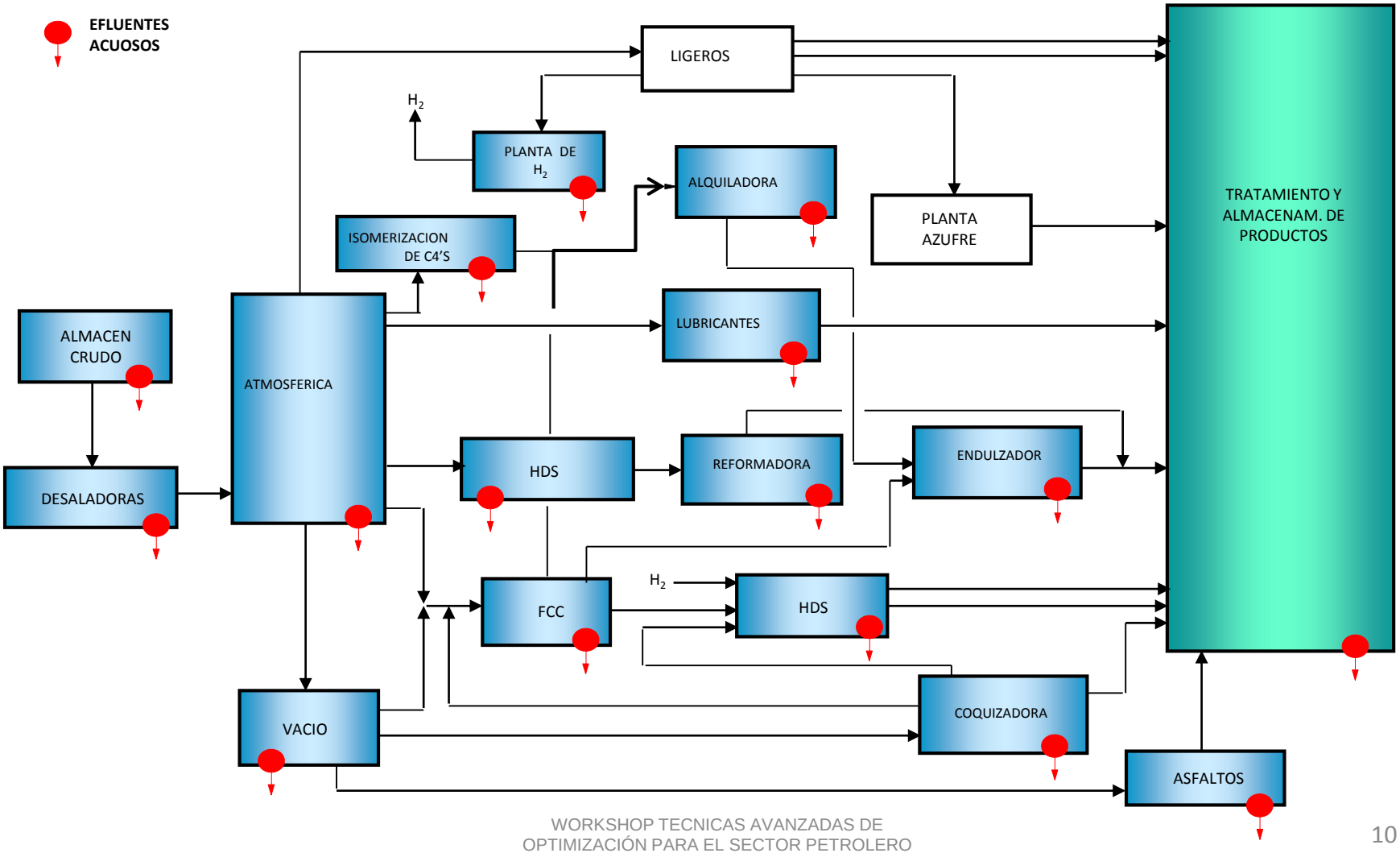
Tal que el costo anual total del consumo de agua fresca, así como de la operación e inversión de los tratamientos de agua de desecho sea mínimo, satisfaciendo las normas ambientales.

SUPER ESTRUCTURA DE LA RED DE AGUA

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

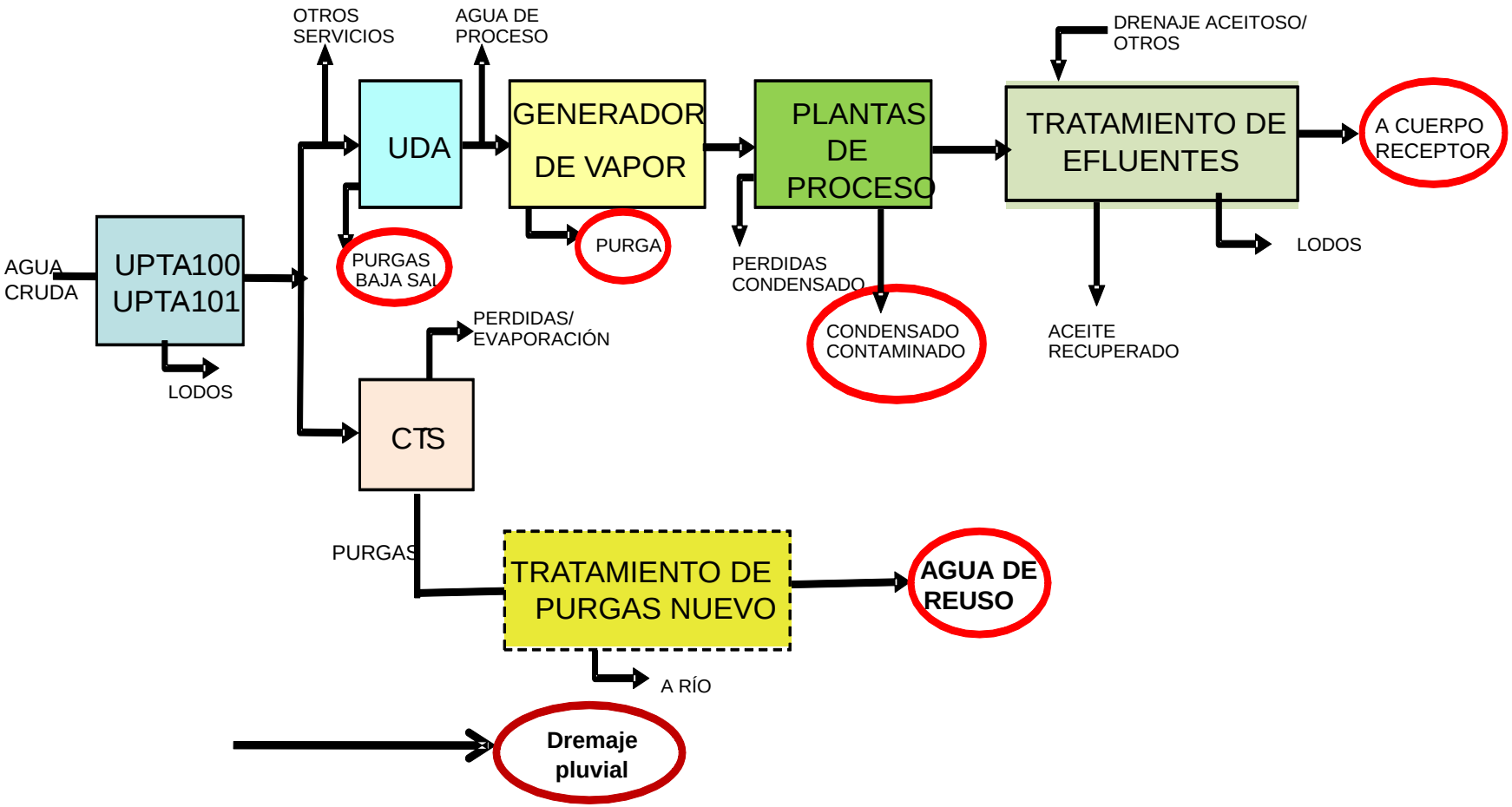


CORRIENTES CON POSIBILIDAD DE REUSO EN UNA REFINERÍA



CORRIENTES CON POSIBILIDAD DE REUSO DENTRO DEL COMPLEJO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO



Corrientes con posibilidad de reuso

MODELO DE MATEMÁTICO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Flujo Total de Fuentes, a cada S

$$F_R = \sum_{1}^{P} F_{R,P} + \sum_{1}^{T} F_{R,T}$$

Mezcladores, entrada a cada P

$$\hat{F}_{P,ent} = \sum_{R=1}^{R} \sum_{\breve{P}=1,\breve{P}\neq P}^{\breve{P}=NP} F_{P,P} + \sum_{T=1}^{T=NT} F_{T,P}$$

Balance de divisores por cada P

$$F_{P,sal} = \sum_{S=1....NS} F_{P,S} + \sum_{T=1...NT} F_{P,T} + \sum_{\breve{P}=1,\breve{P}\neq P} F_{\breve{P}\neq P}$$

Balance para cada proceso

$$\hat{F}_{P,ent} = \hat{F}_{P,sal}$$

Balance a la entrada de cada tratamiento

$$F_{T,ent} = \sum_{R=1....NR} F_{R,T} + \sum_{\tilde{T}=1...NT,\tilde{T}\neq T} F_{\tilde{T},T} + \sum_{P=1...NP} F_{P,T}$$

Balance a la salida de cada tratamiento

$$F_{T,sal} = \sum_{S=1....NS} F_{T,S} + \sum_{P=1...NP} F_{T,P} + \sum_{\tilde{T}=1...NT,\tilde{T}\neq T} F_{\tilde{T},T}$$

$$F_{T,sa} = F_{T,ent}$$

Ahmetovic E. and Grossmann I. Global Superstructure Optimization for the Design of Integrated Process Water Networks, AIChE Journal, February 2011 Vol. 57, No. 2.

MODELO DE MATEMÁTICO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Flujo de descarga por cada S

$$F_S = \sum_{P=1....NP} F_{P,S} + \sum_{T=1...NT} F_{T,S}$$

BALANCE POR COMPONENTE

$$L_{P,j}$$

Para cada P y cada j

$$x_{R,j} = x\ RT_{R,T,j}$$

Para cada P y cada j

$$\hat{F}_{P,ent} xen_{P,j} = \sum_{R=1...NR} F_{R,P} RP_{R,P,j} + \sum_{\breve{P}=1,\breve{P}\neq P} F_{\breve{P},P}\, xsal_{\breve{P},j} + \sum_{T=1...NT} F_{T,P}\, xsal_{T,j}$$

Para el tratamientos T y j´s

$$\hat{F}_{P,ent} xen_{P,j} + L_{P,j} = F_{P,sal}\, xsal_{P,j}$$

MODELO MINLP

$$FIF_S^L \cdot y_{FIF_S} \leq FIF_S \leq FIF_S^U \cdot y_{FIF_S} \quad \forall\ S \in SW$$

$$FIF_{S,P}^L \cdot y_{FIF_{S,P}} \leq FIF_{S,P} \leq FIF_{S,P}^{,U} \cdot y_{FIF_{S,P}} \quad \forall\ S\ SW, \forall\ P \in PU$$

$$FIF_{S,T}^L \cdot y_{FIF_{S,T}} \leq FIF_{S,T} \leq FIF_{S,T}^{,U} \cdot y_{FIF_{S,T}} \quad \forall\ S\ SW, \forall\ T \in TU$$

TORRES DE ENFRIAMIENTO

$$Q_c = f_{rec}\, C_{pw}\ \Delta T$$

$$A + P = R/C\ C$$

$$E = Rep - (A + P)$$

$$Rec = E * 1000/\Delta T$$

$$A = 0.002 * Rec$$

Ahmetovic E. and Grossmann I. Global Superstructure Optimization for the Design of Integrated Process Water Networks, AIChE Journal, February 2011 Vol. 57, No. 2.

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Planteamiento matemático

Las Funciones Objetivo (F.O.) que contiene la herramienta pueden:

- Minimizar el consumo de agua fresca.
- Minimizar de consumo de agua fresca y la suma de flujos a las Unidades de Tratamiento.
- Minimización del costo total anual que incluya los costos de agua fresca, **de inversión y de operación de las Unidades de Tratamiento.**

Planteamiento matemático

Una F.O. obvia y directa a minimizar sería, entonces, la suma del consumo de agua fresca al sistema (FW) así como el flujo total de agua de desecho a ser tratado en las unidades del tren de tratamiento:

$$Mín \quad \Phi = FW + \sum_{\substack{t \in TU \\ i \in t_{out}}} F^{i}$$

Más frecuentemente, el problema de optimización se resuelve usando funciones de costo, que son normalmente más complejas, así se tiene la siguiente F.O.:

FUNCIÓN OBJETIVO ECONÓMICA

Agua fresca
+
Agua Tratamientos

Costos de Inversión

Costos de Operación

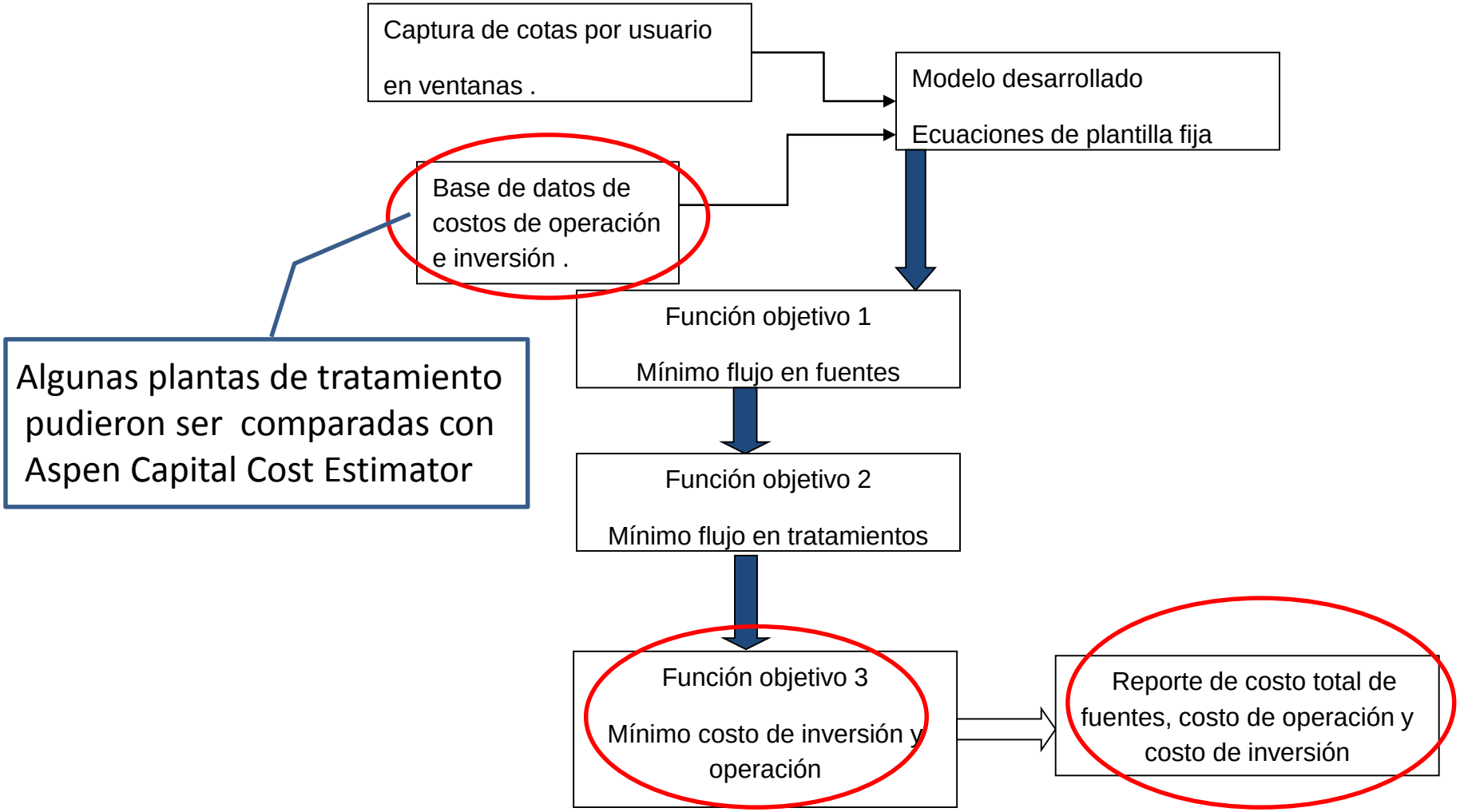
$$Mín\ \phi = HC_{FW}\left(FW + \sum_{\substack{t \in TU \\ t \in t_{out}}} F^i\right) + AR \sum_{\substack{t \in TU \\ t \in t_{out}}} IC^t (F^I)^\alpha + H \sum_{\substack{t \in TU \\ t \in t_{out}}} OC^t\ (F^i)$$

$$OC_T = OC1F_T^{EXOC1} + OC2F_T^{EXOC2} + OC3F_T^{EXOC3}$$

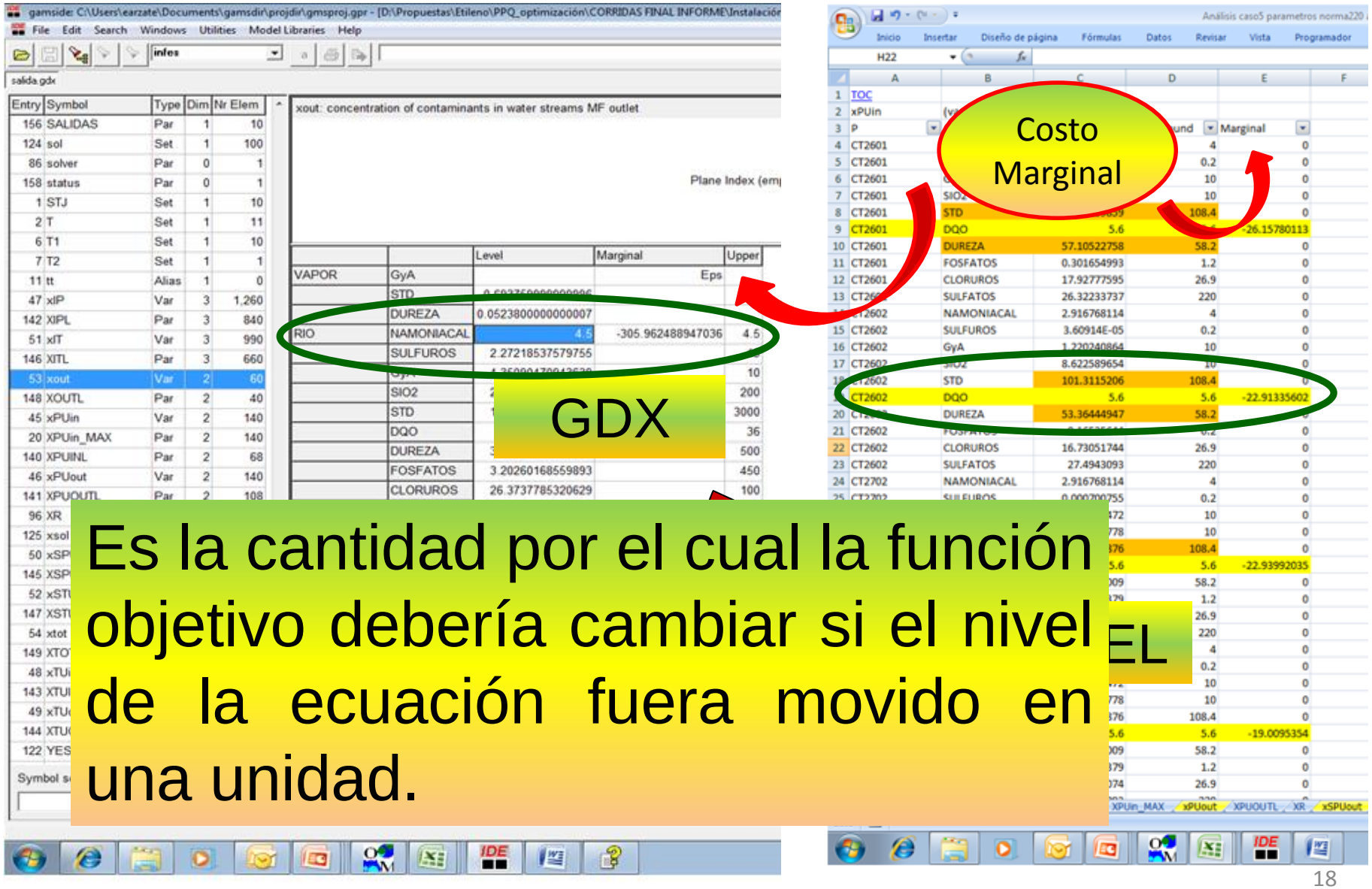
$$IC_T = IC1F_T^{EX1} + IC2F_T^{EX2} + IC3F_T^{EX3}$$

Variable	Significado
H	horas de operación por planta por año (h/año);
C_{FW}	costo de agua fresca ($/t);
FW	consumo de agua fresca (t/h);
AR	factor anualizado para inversión de unidades de tratamiento (año^{-1})
$IC^t(F_i)^\alpha$	costo de inversión para unidades de tratamiento t ($)
$OC^t\ F^i$	costos de operación para unidad de tratamiento t ($/h)
α	exponente de la función de costo ($0 \leq \alpha \leq 1$)

SECUENCIA PARA APLICAR LA FUNCIÓN OBJETIVO APLICANDO AL MODELO MODERNIZADO



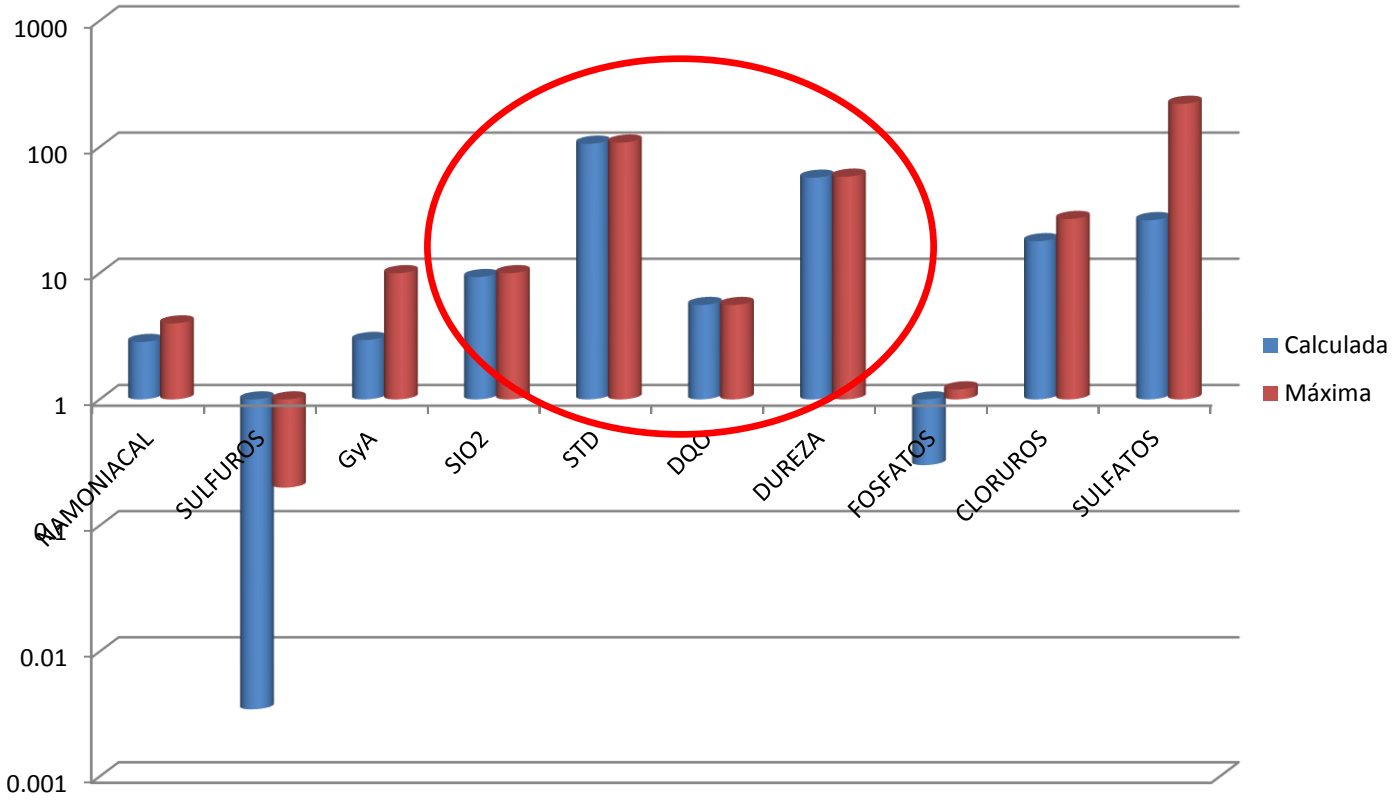
ANÁLISIS DE RESULTADOS A TRAVES DE LAS VARIABLES



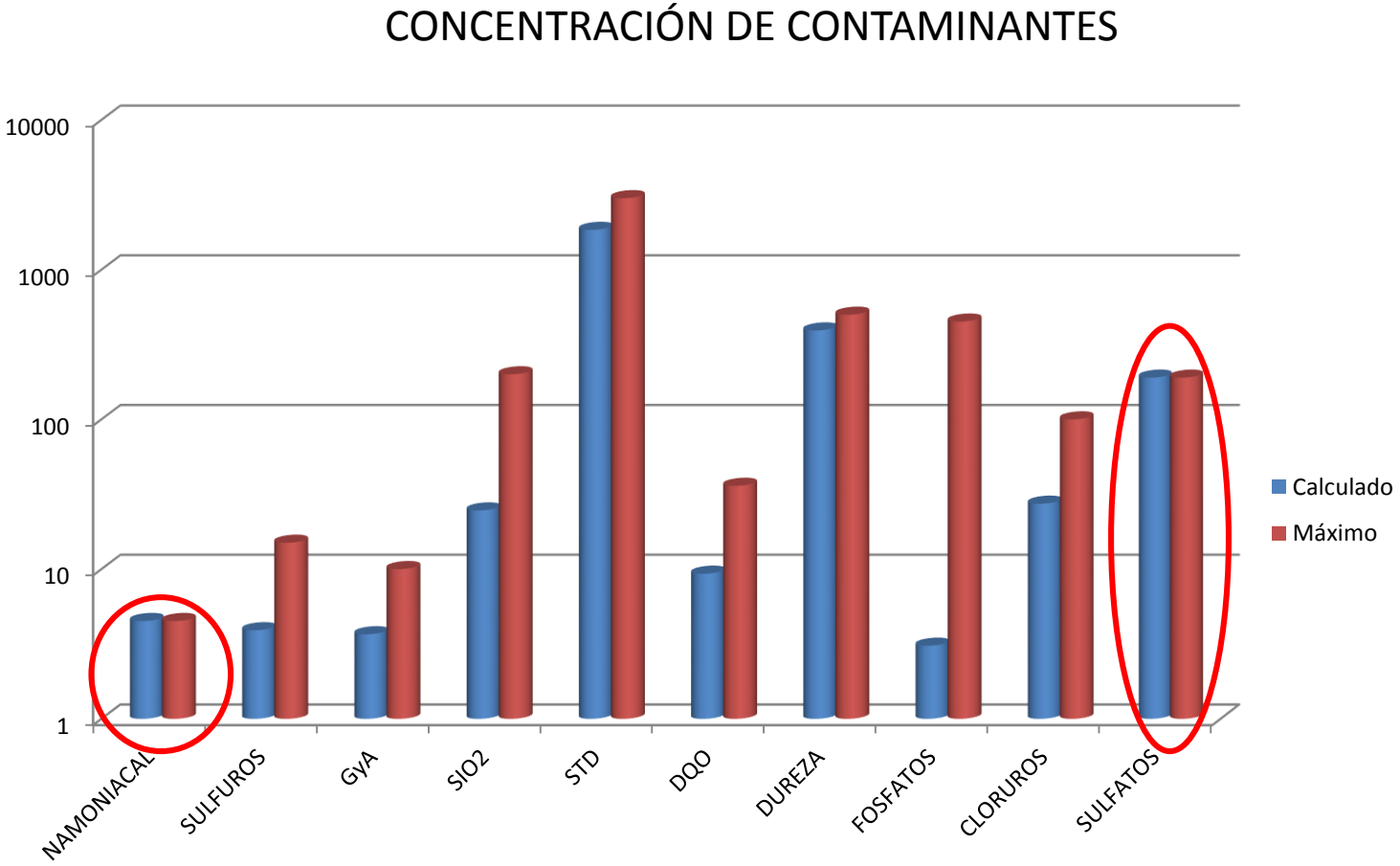
Es la cantidad por el cual la función objetivo debería cambiar si el nivel de la ecuación fuera movido en una unidad.

CONCENTRACIONES MÁXIMAS

A LA ENTRADA DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO



MEZCLA DE CORRIENTES QUE LLEGAN AL RIO

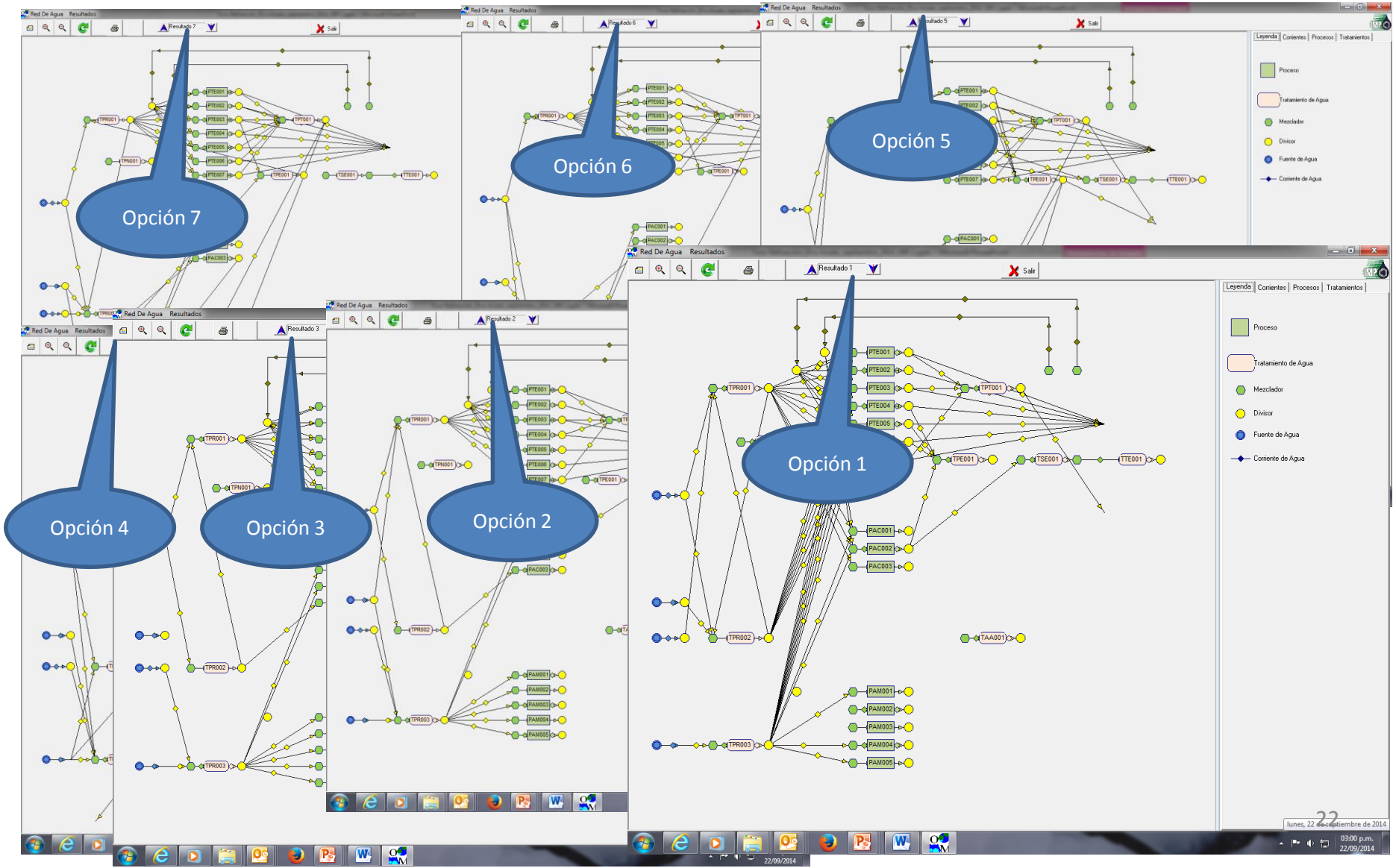


METODOLOGÍA DE ACOTAMIENTO

1. Sin cotas
2. Cotas de tratamiento a proceso
3. Cotas de proceso a tratamiento
4. Cotas de proceso a sumideros
5. Cotas de tratamiento a tratamientos
6. Cotas de tratamiento a descarga (inferior)
7. Cotas de fuentes a tratamiento y tratamiento a trat (inferior)

7 OPCIONES GRÁFICAS PARA ENCONTRAR LA SOLUCIÓN FACTIBLE

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO



RESULTADOS CON DIFERENTES SOLUCIONES

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

casos_factibles.xls [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

	Name	Type	Dim	Count	Explanatory text
2	edo	parameter	1	7	ESTADO DE OPTIMIZACION 2=FACTIBLE
3	ENTRADAS	parameter	2	28	FLUJO DE FUENTES A LA RED
4	FITL	parameter	3	53	FLUJO DE FUENTES A TRATAMIENTO
5	FPOUTL	parameter	3	68	FLUJO DE PROCESOS A DESCARGAS
6	FPTL	parameter	3	158	FLUJO DE PROCESOS A TRATAMIENTOS
7	FTINL	parameter	2	71	FLUJO TOTAL DEL TRATAMIENTO
8	FTL	parameter	3	88	FLUJO DE TRATAMIENTO A TRATAMIENTO
9	FTOUTL	parameter	3	51	FLUJO DE TRATAMIENTO A DESCARGAS
10	FTPL	parameter	3	195	FLUJO DE TRATAMIENTOS A PROCESOS
11	infact	parameter	1	0	NUMERO DE VARIABLES INFACTIBLES
12	solu	parameter	1	7	VALOR DE OBJETIVO
13	XOUTL	parameter	3	336	
14	XPUINL	parameter	3	439	
15	XPUOUTL	parameter	3	715	
16	XTOTL	parameter	3	210	
17	XTUINL	parameter	3	507	
18	XTUOUTL	parameter	3	430	

Tabla de contenido de las diferentes variables

RESULTADOS CON DIFERENTES SOLUCIONES

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

casos_factibles.xls [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

A1 | TOC

	A	B	C	D
1	TOC			
2	FPOUTL	(parameter)	FLUJO DE PROCESOS A DESCARGAS	
3	dim1	dim2	dim3	Value
4	1	PTE001	EVA001	111.20744
5	1	PTE002	EVA001	218.4024
6	1	PTE003	EVA001	155.58224
7	1	PTE004	EVA001	152.45178
8	1	PTE005	EVA001	172.92142
9	1	PTE006	EVA001	119.25084
10	1	PTE007	EVA001	63.7839
11	1	PAM002	LOD001	23.7876888
12	1	PAM002	VAP001	45.21233098
13	1	PAM002	EVA001	16.34431836
14	1	PAM002	SER001	90.48087042
15	2	PTE001	EVA001	111.20744
16	2	PTE002	EVA001	218.4024
17	2	PTE003	EVA001	155.58224
18	2	PTE004	EVA001	152.45178
19	2	PTE005	EVA001	172.92142
20	2	PTE006	EVA001	119.25084
21	2	PTE007	EVA001	63.7839
22	2	PAM002	LOD001	0.021373154
23	2	PAM002	VAP001	171.2527391
24	2	PAM002	EVA001	3.736010469
25	2	PAM002	SER001	2.911809132
26	3	PTE001	EVA001	111.20744
27	3	PTE002	EVA001	218.4024
28	3	PTE003	VAP001	8.805565405
29	3	PTE003	EVA001	155.58224
30	3	PTE004	EVA001	152.45178
31	3	PTE005	EVA001	172.92142
32	3	PTE006	EVA001	119.25084
33	3	PTE007	EVA001	63.7839
34	3	PAC003	LOD001	38.04320001
35	3	PAC003	SER001	0.1967999
36	3	PAM002	LOD001	61.716
37	3	PAM002	VAP001	96
38	3	PAM002	EVA001	19 06

FLUJO DE PROCESOS A DESCARGAS

RESULTADOS CON DIFERENTES SOLUCIONES

INSTITUTO MEXICANO DEL PE

casos_factibles.xls [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

A1 | TOC

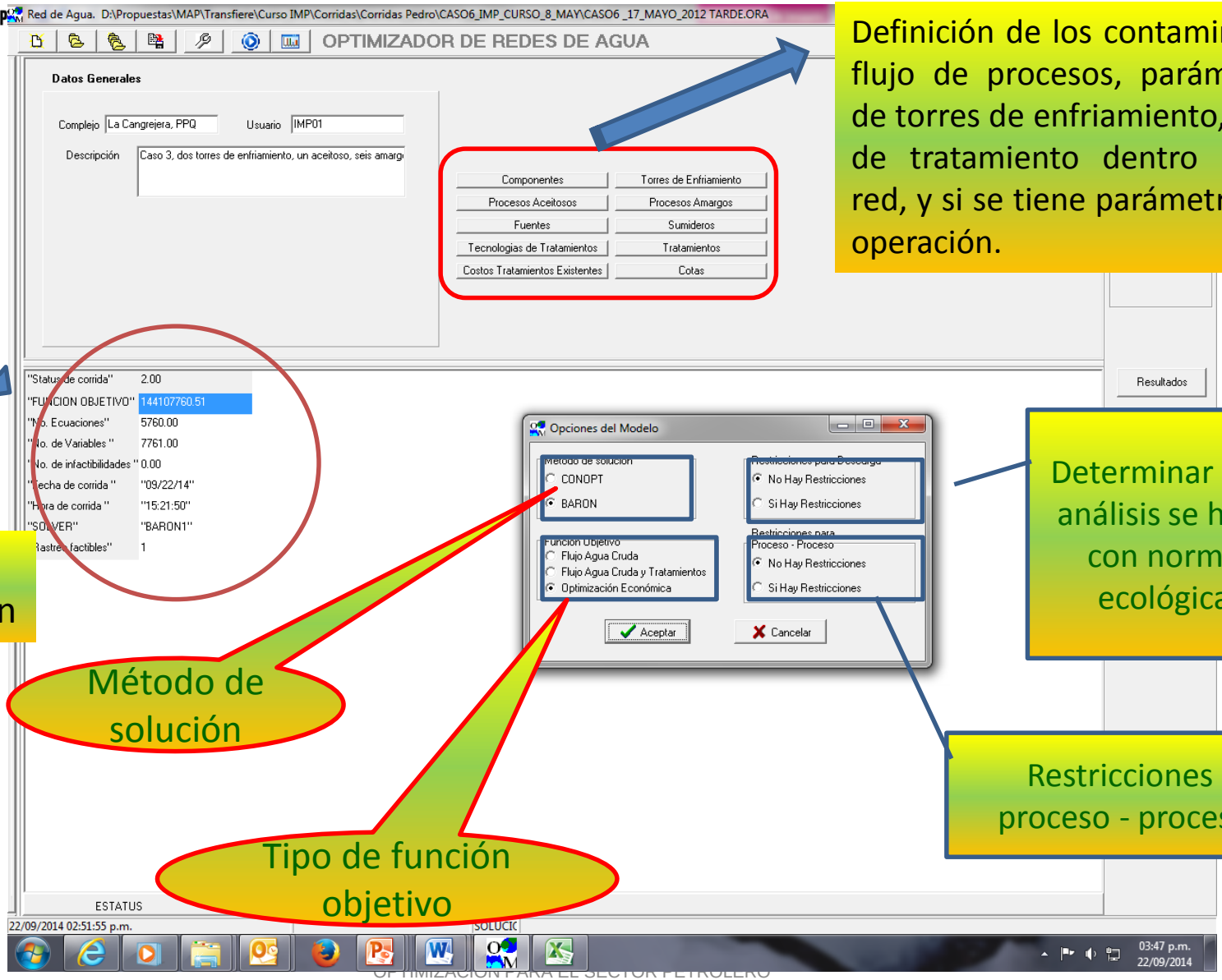
	A	B	C
1	TOC		
2	solu	(parameter)	VALOR DE OBJETIVO
3	dim1	Value	
4	1	4715.664539	
5	2	4461.531303	
6	3	4632.916219	
7	4	5309.278775	
8	5	5413.26739	
9	6	6752.465592	
10	7	9873.893015	

Table of Contents / edo / ENTRADAS / FITL / FPOUTL / FPTL / FTINL / FTL / FTOUTL / FTPL / solu / XOUTL

OPTIMIZACIÓN DE FLUJOS

RESULTADOS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS



Definición de los contaminates, flujo de procesos, parámetros de torres de enfriamiento, tipos de tratamiento dentro de la red, y si se tiene parámetros de operación.

Status de la optimización

Determinar si el análisis se hará con norma ecológica

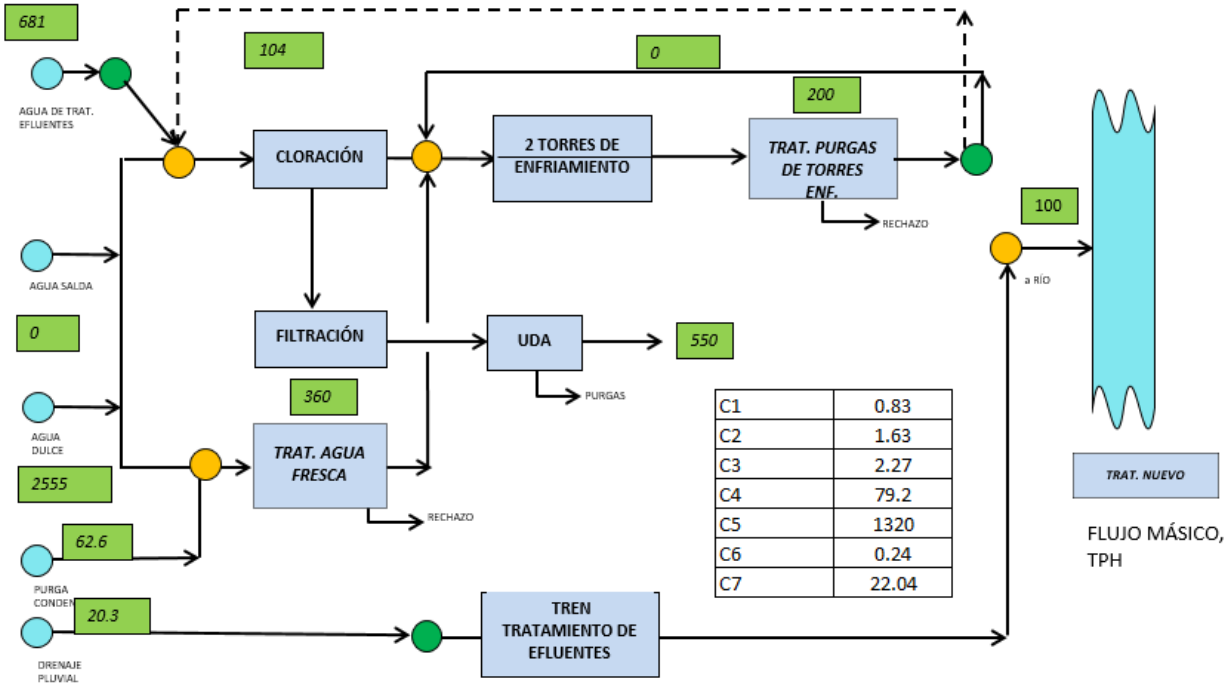
Método de solución

Tipo de función objetivo

Restricciones proceso - proceso

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON AGUARED

CASO BASE



C1	0.83
C2	1.63
C3	2.27
C4	79.2
C5	1320
C6	0.24
C7	22.04

Índice energético

DT(°C)	Indice Energético (KW/m3)
5	7.19
6	9.35
7	9.86
8.3	10.40
9	10.32

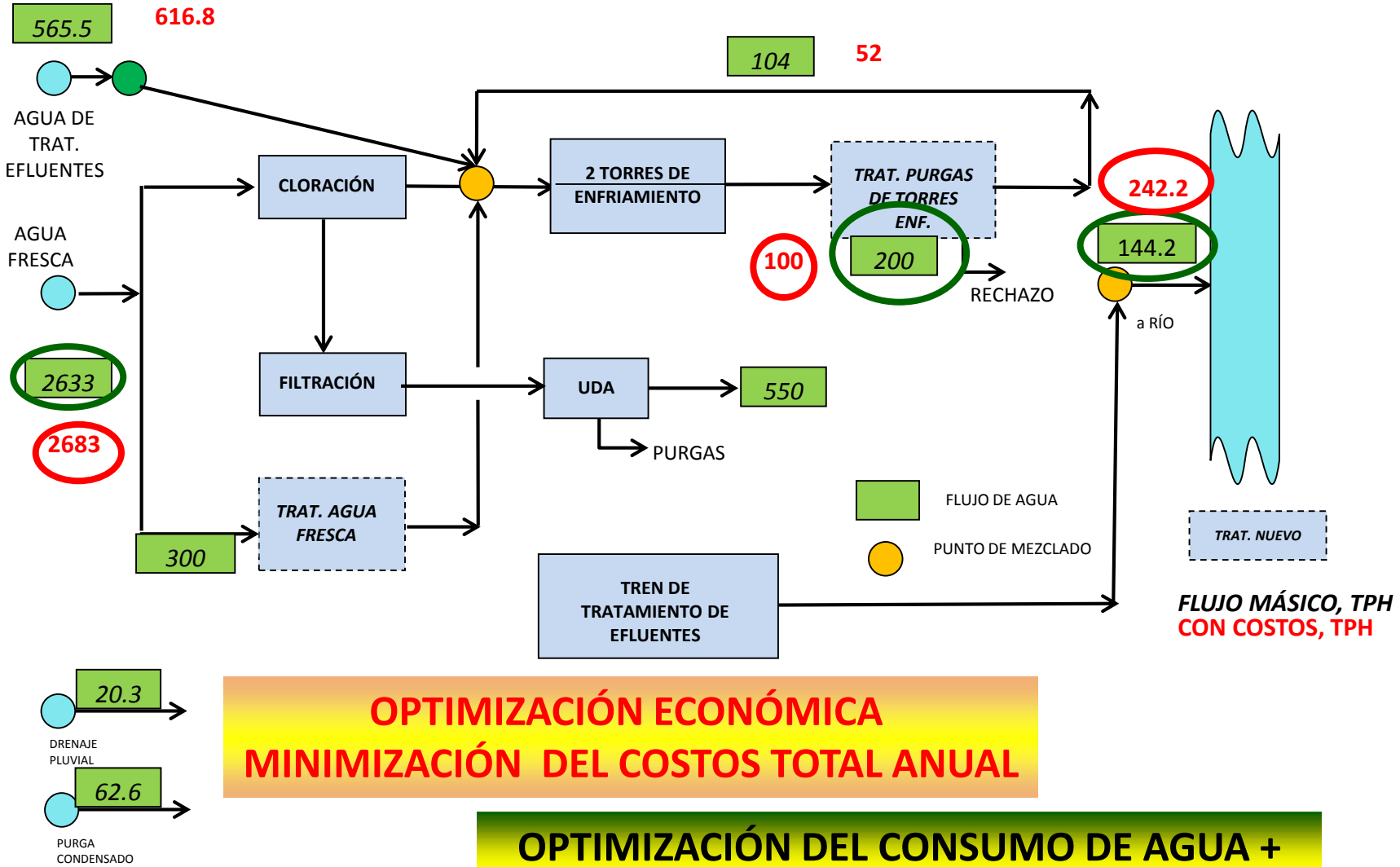
Concentraciones de contaminantes a rio

	DT=5	DT=6	DT=7	DT=8.3	DT=9
C1	0.81	0.80	0.85	0.83	0.28
C2	1.12	1.21	1.58	1.63	0.41
C3	2.49	2.41	2.38	2.27	0.60
C4	70.59	42.35	75.60	79.20	149.60
C5	1320	1320	1320	1320	1963
C6	0.17	0.18	0.23	0.24	0.06
C7	16.13	17.23	19.37	22.04	47.90

EJEMPLOS DE OPTIMIZACIONES ECONÓMICAS

COMPARACIÓN DE FUNCIONES OBJETIVO

CASO 1 : Circuito de Torres de Enfriamiento (2)



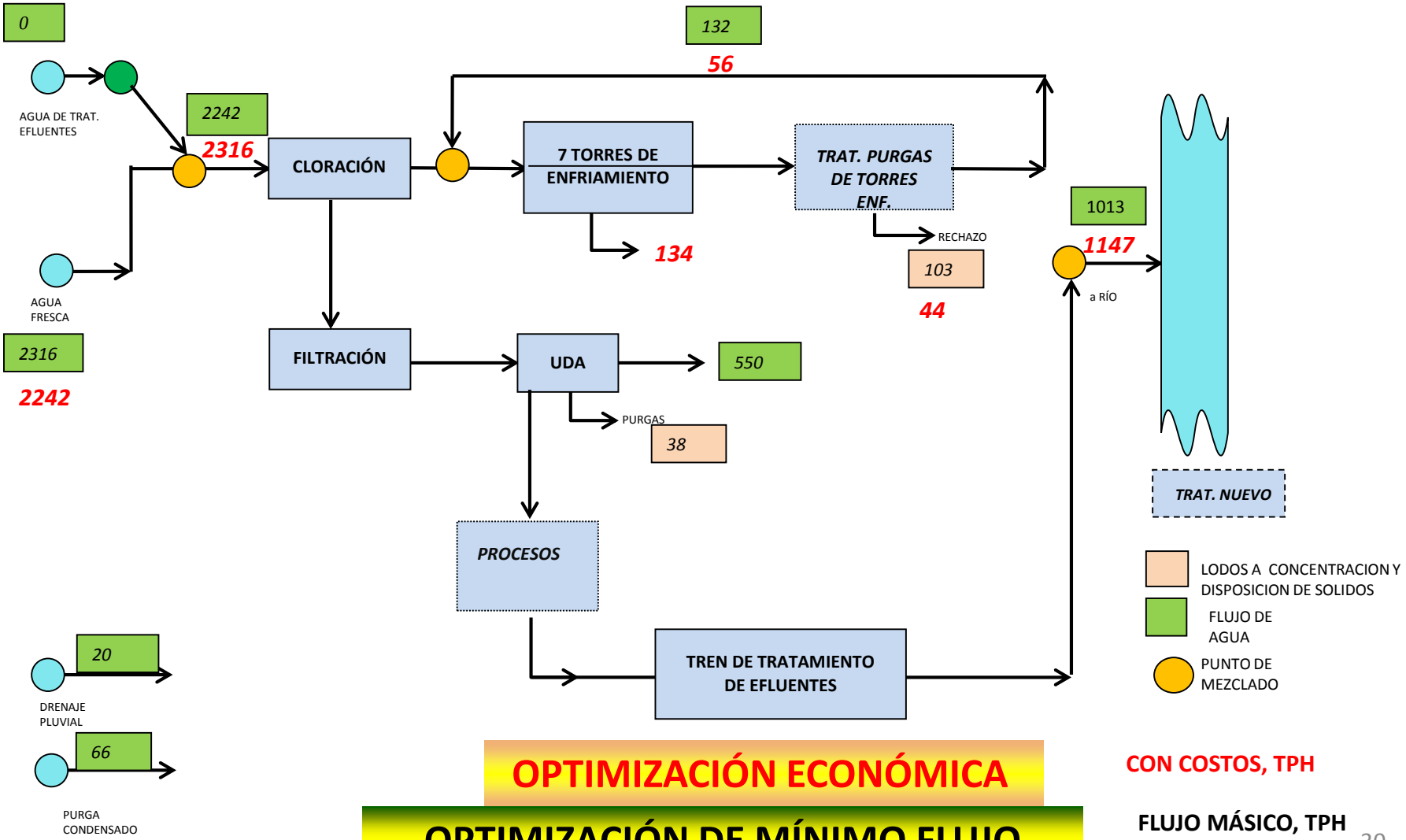
OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA
MINIMIZACIÓN DEL COSTOS TOTAL ANUAL

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA + FLUJO DE ENTRADA A TRATAMIENTOS

COMPLEJO COMPLETO

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

CASO 2: 6 TORRES DE ENFRIAMIENTO, 3 PROCESOS ACEITOSOS, 6 PROCESOS AMARGOS



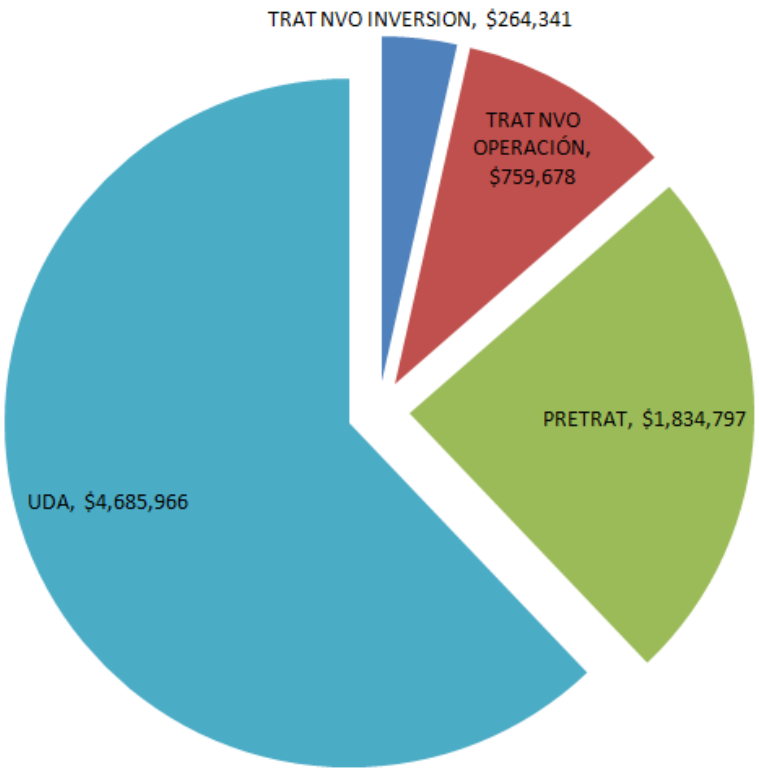
OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA — CON COSTOS, TPH

OPTIMIZACIÓN DE MÍNIMO FLUJO — FLUJO MÁSICO, TPH

COSTO ANUALIZADO PARA EL CASO COMPLETO(3) ($DÓLARES / AÑO)

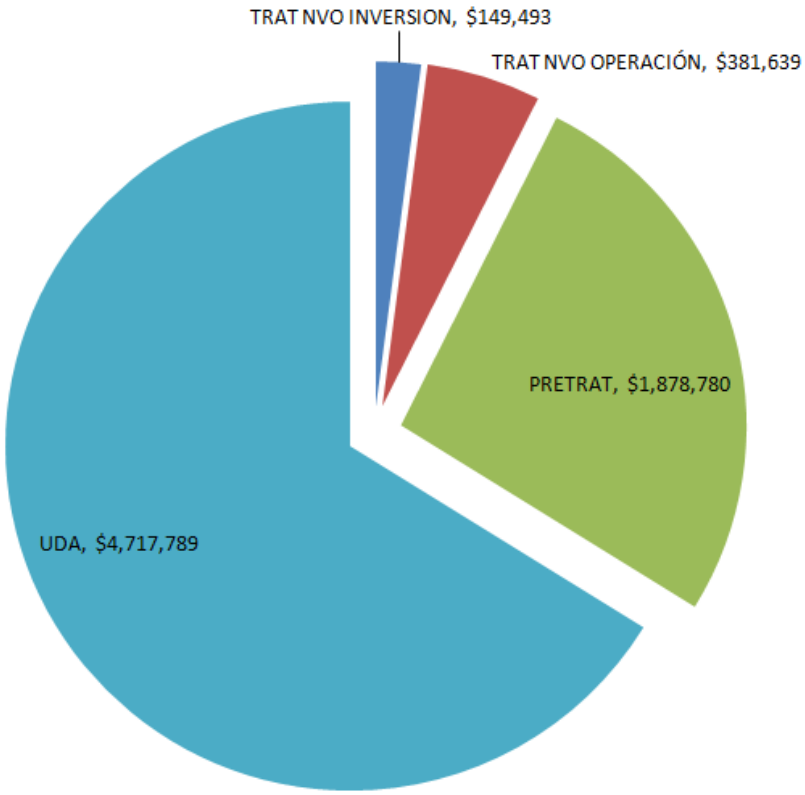
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

MINIMIZACIÓN DE FLUJO A TRATAMIENTOS



$ 7,544,782

FUNCIÓN OBJETIVO ECONÓMICA



$ 7,127,702

- TRAT NVO INVERSION
- TRAT NVO OPERACIÓN
- PRETRAT
- UDA