



PROPUESTA DE GEMELO DIGITAL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN HIDROLÓGICAS DESDE LA VISIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0

Tutor: PhD. Juan Cardillo
Cotutor: PhD. Edgar Chacón

Tesista: Br. Ysis Lacruz

Noviembre, 2019

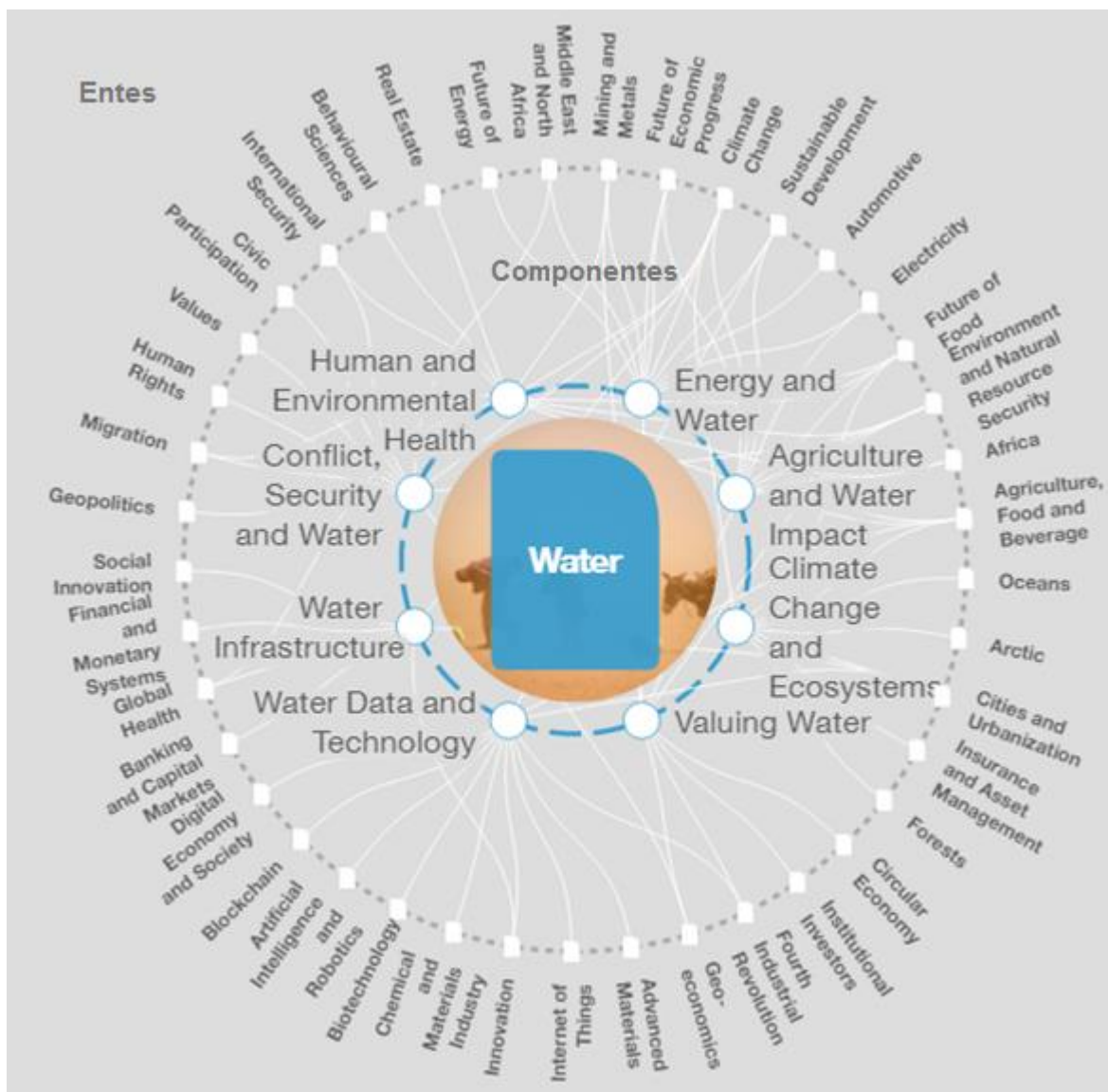
Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

- Pérdida de agua por fugas.
- Ausencia de datos y/o análisis de datos en la empresa.
- Reparaciones reactivas y no planificadas.
- Agua de baja calidad debido a tratamientos inadecuados.



I4.0 ofrece nuevos métodos para encarar los procesos complejos de sistemas críticos, aquellos que son clave en el desarrollo humano e industrial.

Digitalización



1ª

2ª

3ª

4ª

Mecanización

Electricidad

Informática

Digitalización

Máquina de vapor,
energía hidráulica y
mecanización

Producción en masa,
cadena de montaje y
electricidad

Automatización,
tecnologías de la
información y la
comunicación (TIC)

Internet de las cosas, la
nube, coordinación
digital, sistemas
ciberfísicos y robótica

Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Planteamiento del Problema

Se propone desarrollar los modelos de comportamiento del proceso de potabilización, que incluye el modelo de proceso, el modelo de flujo de producto y el modelo de los recursos, con el fin de determinar el modelo operacional (secuencia de operaciones) para establecer el gemelo digital de la unidad de potabilización.

Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Objetivos

Objetivo General:

Generar la propuesta de un gemelo digital de la unidad de potabilización de una hidrológica desde la visión de la industria 4.0, basado en Sistemas Híbridos.

Objetivos Específicos:

- Determinar los modelos de comportamiento de la unidad de potabilización.
- Establecer las condiciones de conmutación de los modelos obtenidos desde el punto de vista de sistemas a eventos discretos.
- Generar el modelo de comportamiento desde el punto de vista de los sistemas híbridos.
- Implementar el modelo de comportamiento de la unidad de potabilización en un ambiente de simulación.
- Establecer condiciones para generar el gemelo digital e incorporarlas al ambiente de simulación.

Tabla de Contenido

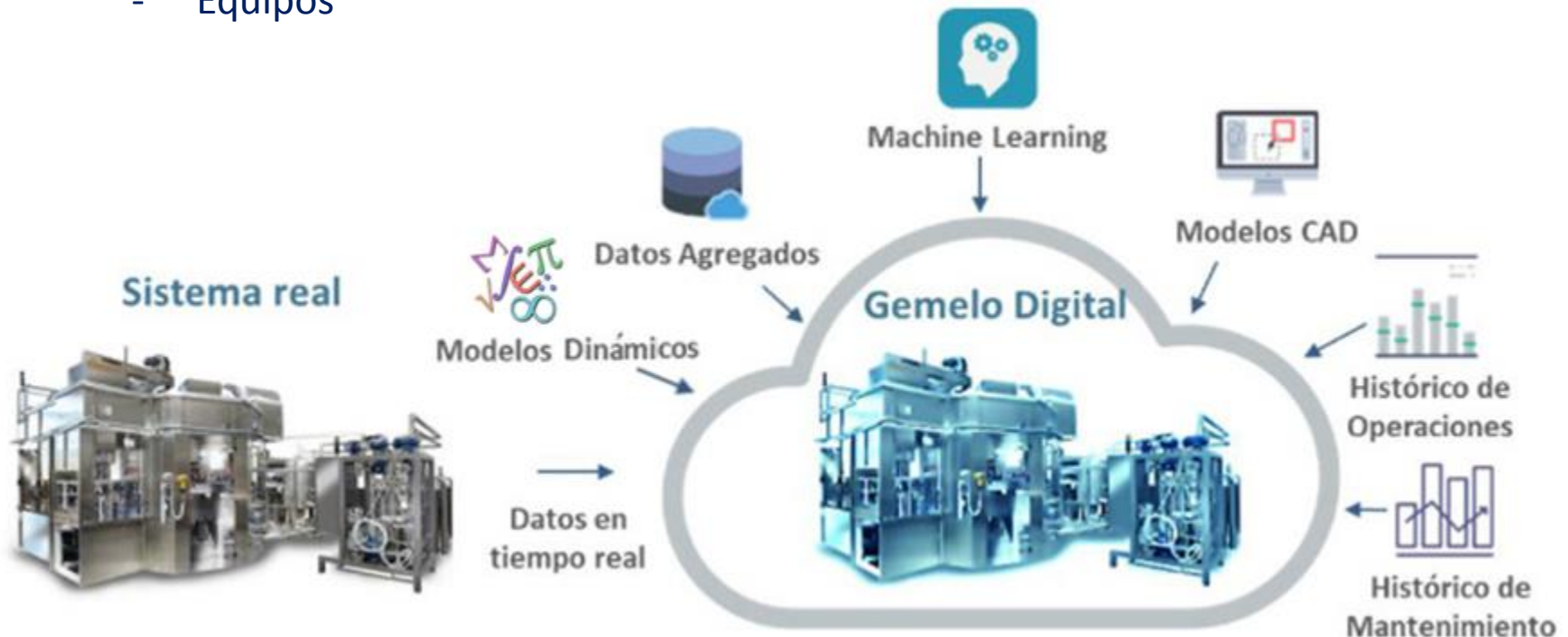
- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Gemelo Digital en la Industria 4.0

Representación digital de una entidad o sistema del mundo real a través de la información obtenida de sensores o automatismos, permitiendo la interconexión de procesos.

(Freiberger et al, 2017)

- Flujo de Producto
- Recursos
- Equipos



Integración de dispositivos físicos con sensores y software en red, utilizados para predecir, monitorear, controlar y planificar, en pro de mejores resultados industriales.

(Otto et al, 2015)



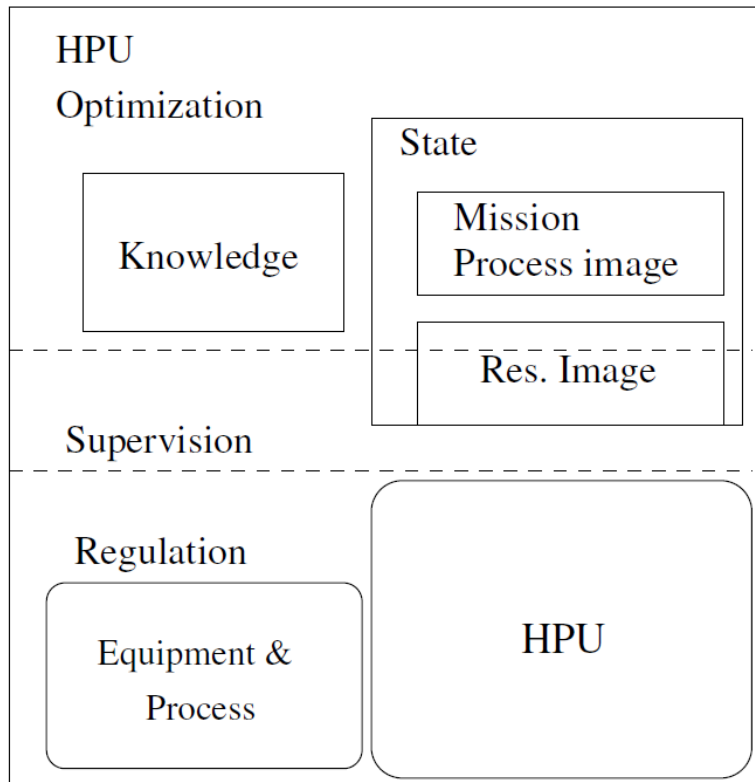
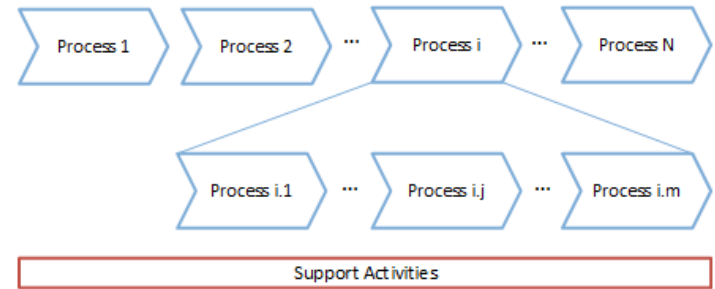
(Siemens, 2018)

Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Unidad Holónica de Producción

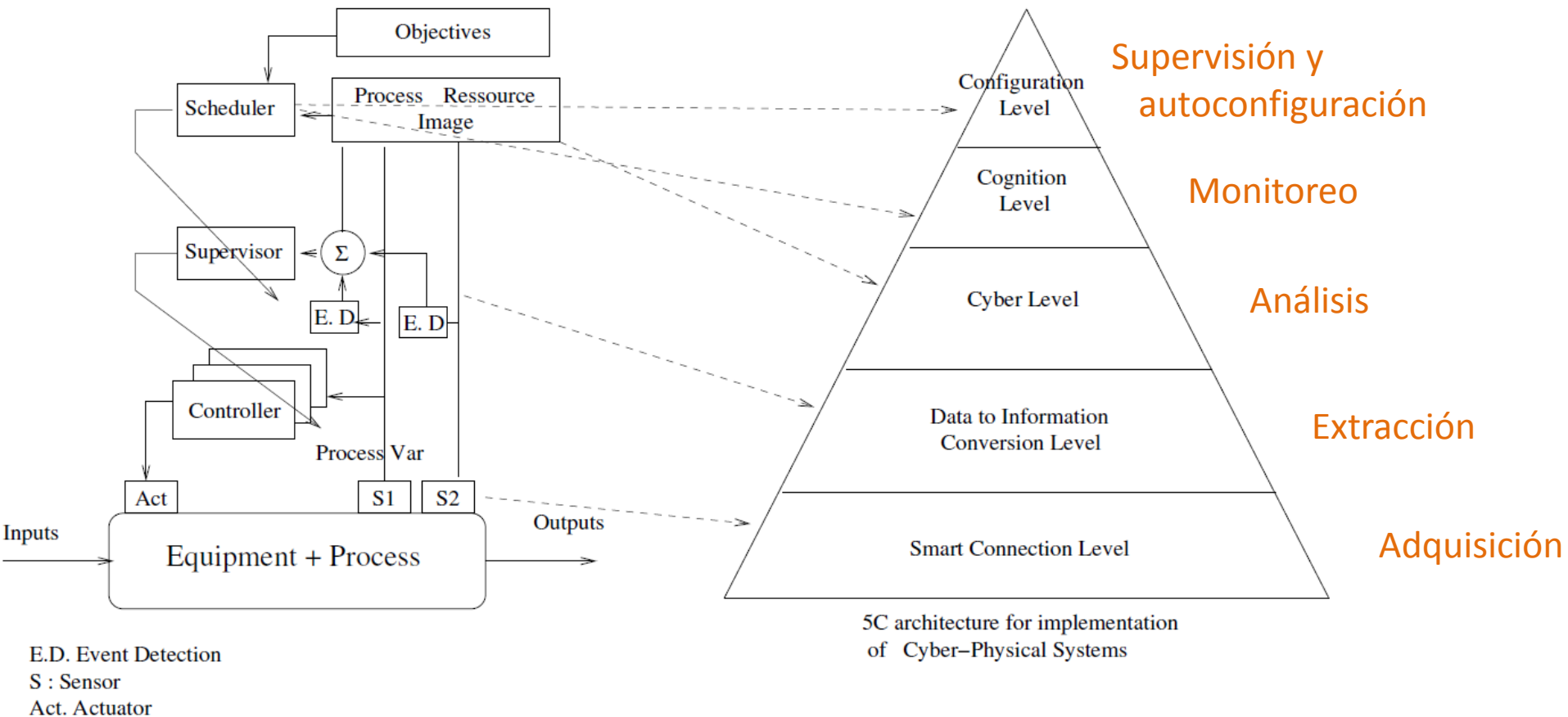
Una unidad de producción (UP), es un eslabón de la cadena de valor para producción.

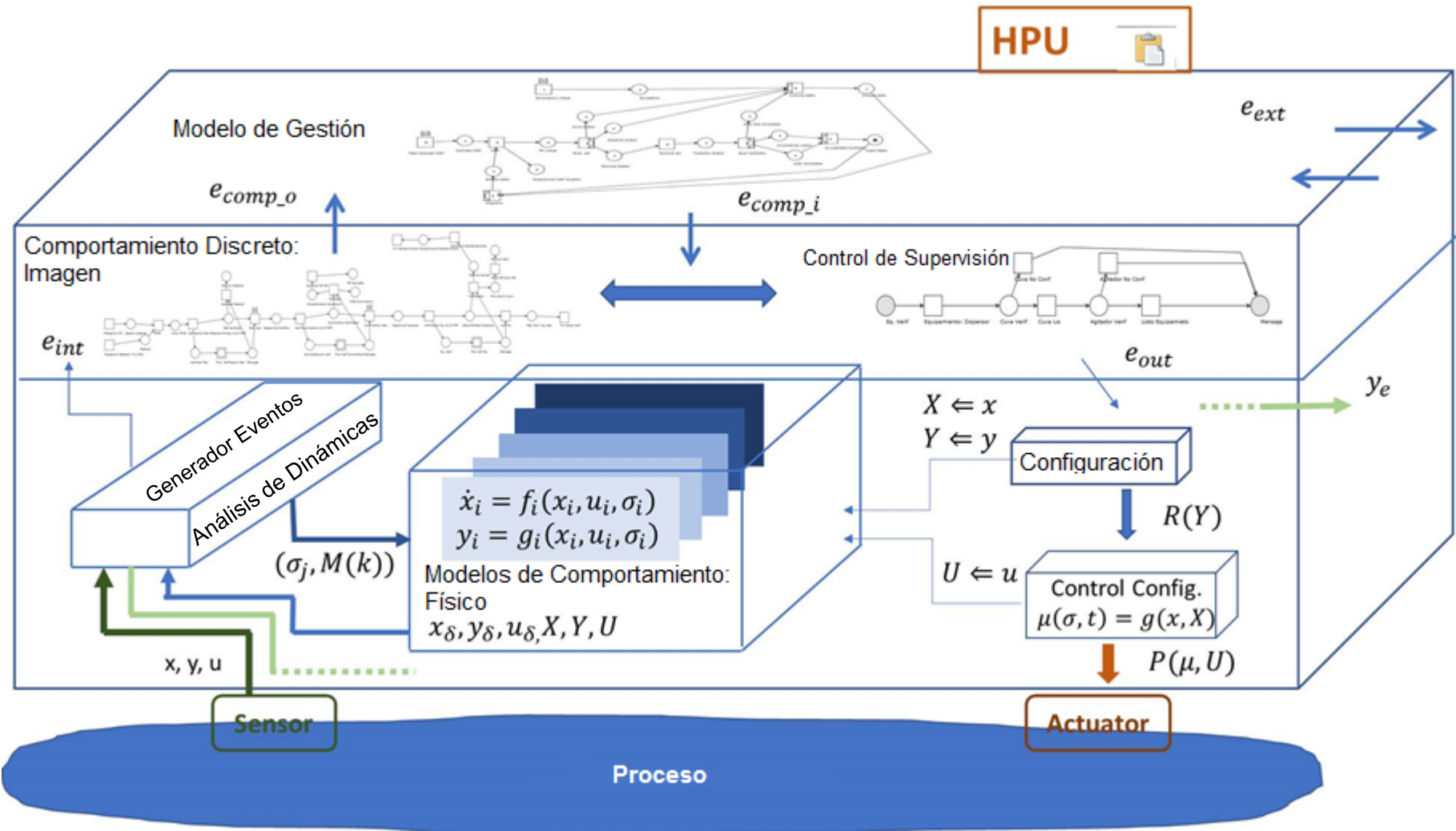


Si la UP es autónoma, los eslabones de la cadena de valor pasan a ser UHP.

El conocimiento de una unidad se compone del modelo de producto, del proceso, de los recursos y de la infraestructura.

La metodología para la implementación de las UHP se basa en la arquitectura de las 5C para sistemas ciber-físicos.





Según Lygeros (2012), la definición de un sistema dinámico híbrido general controlado, se presenta como un autómata híbrido H .

$H = (Q, X, f, Init, Dom, E, G, R)$, donde:

$Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots\}$ es el conjunto de *estados discretos*,

$X = \mathbb{R}^n$ es el conjunto de *variables continuas*,

$f(\cdot, \cdot) : Q \times X \mapsto \mathbb{R}^n$ es el *campo vectorial*,

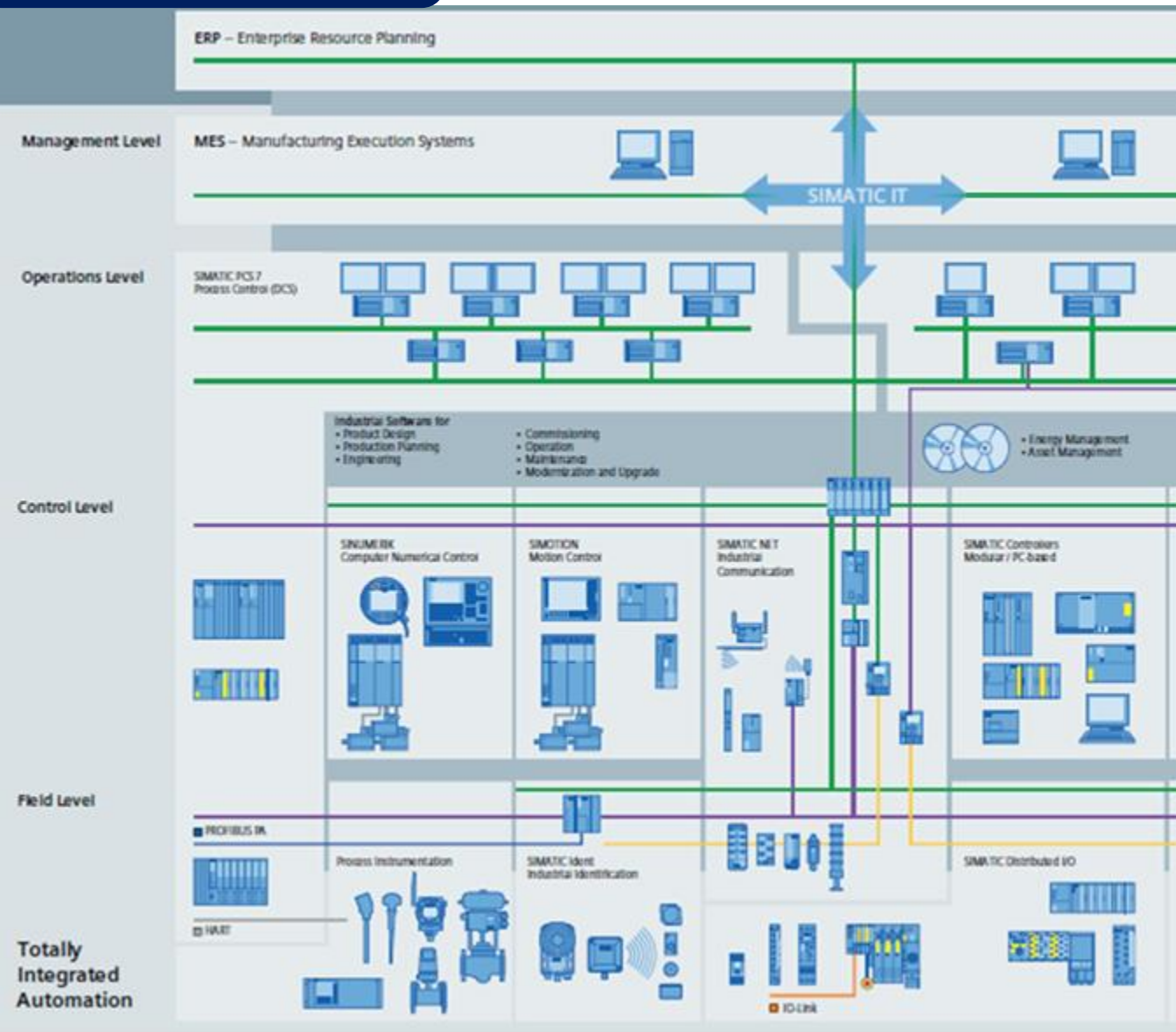
$Init \subseteq Q \times X$ es el conjunto de *estados iniciales*,

$Dom(\cdot) : Q \mapsto 2^X$ es el *dominio*,

$E \subseteq Q \times Q$ es un conjunto de *aristas*,

$G(\cdot) : E \mapsto 2^X$ son las *condiciones de guarda*,

$R(\cdot, \cdot) : E \times X \mapsto 2^X$ es un *mapa de reinicio*.



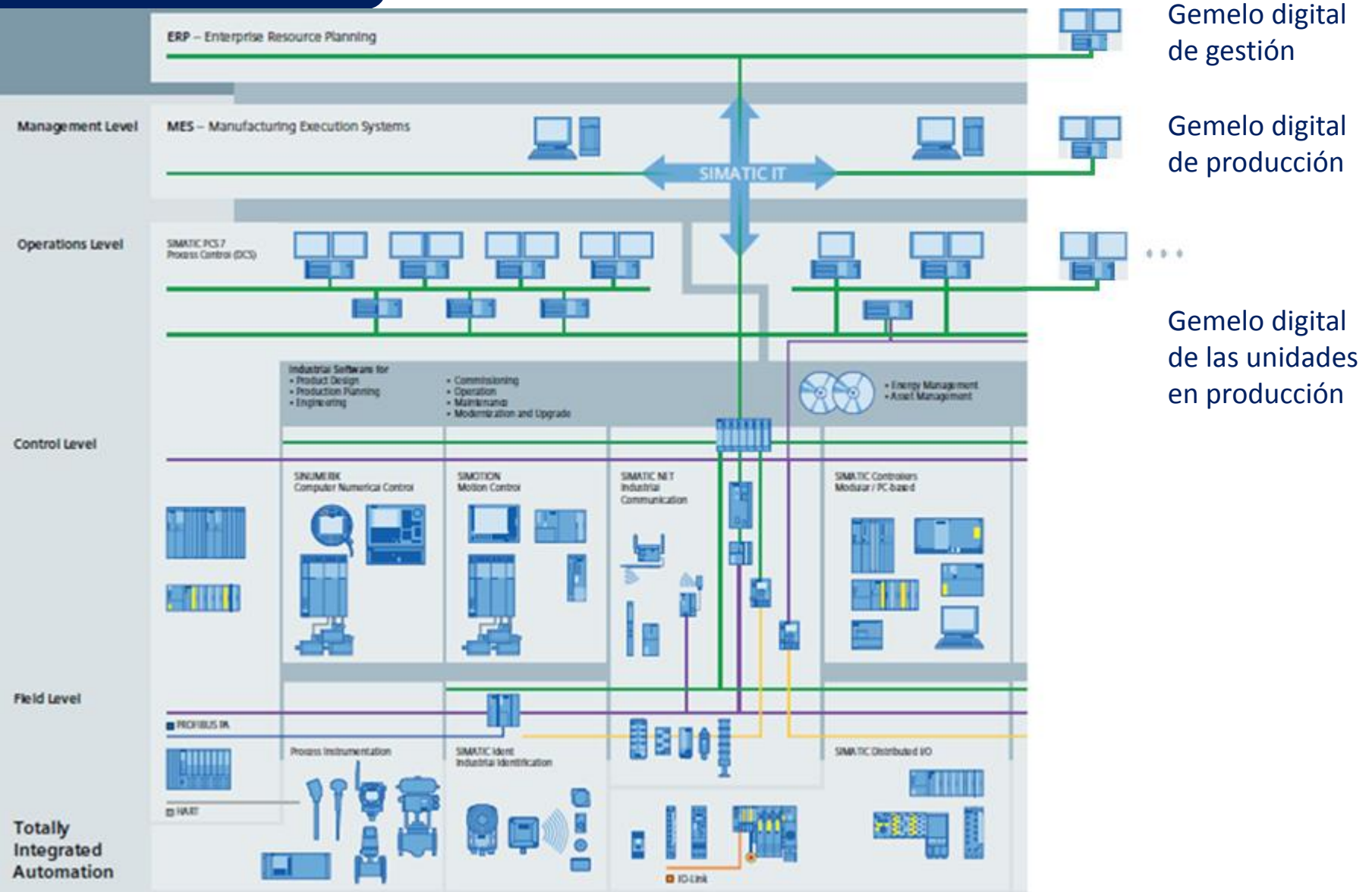
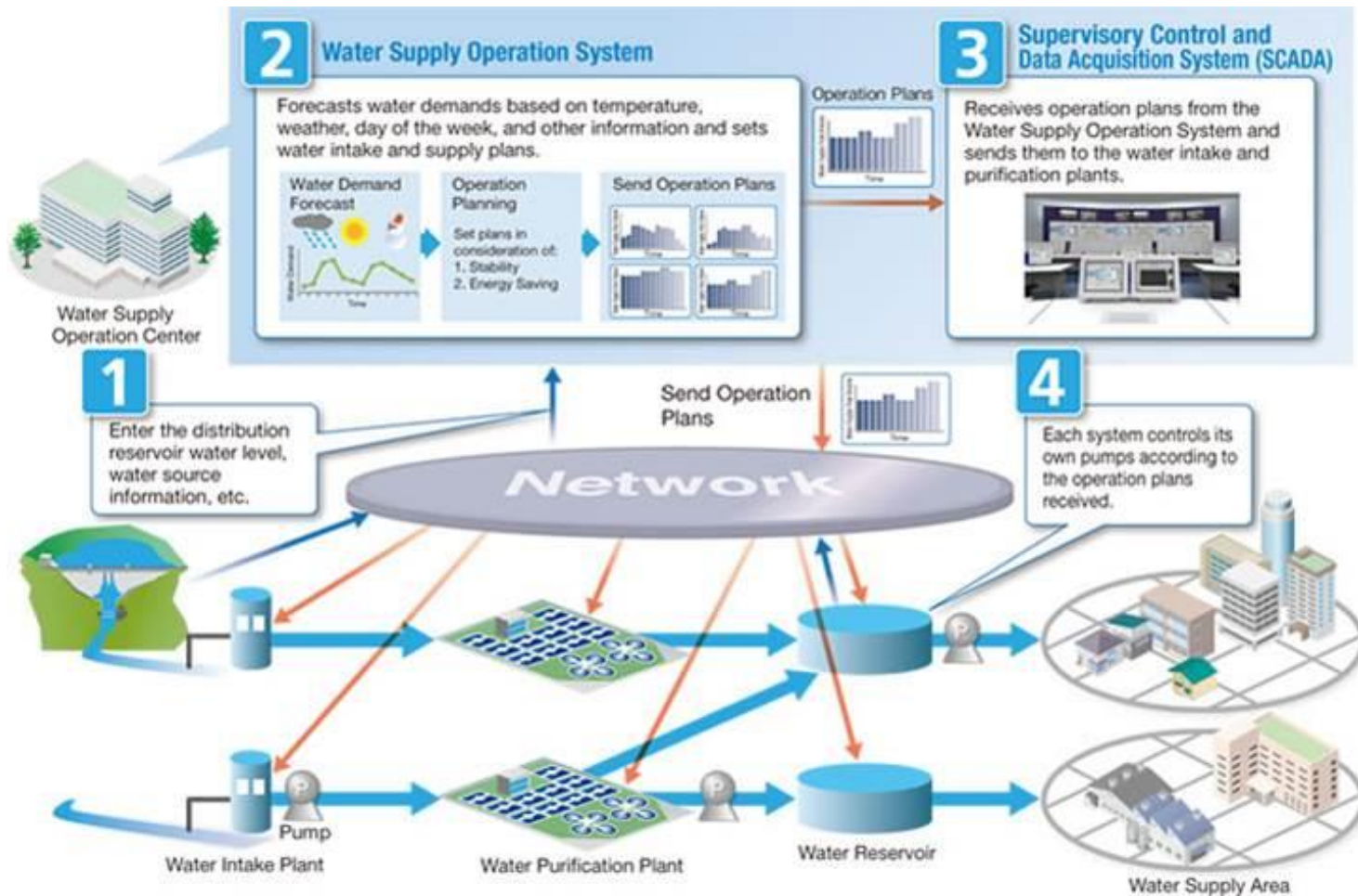


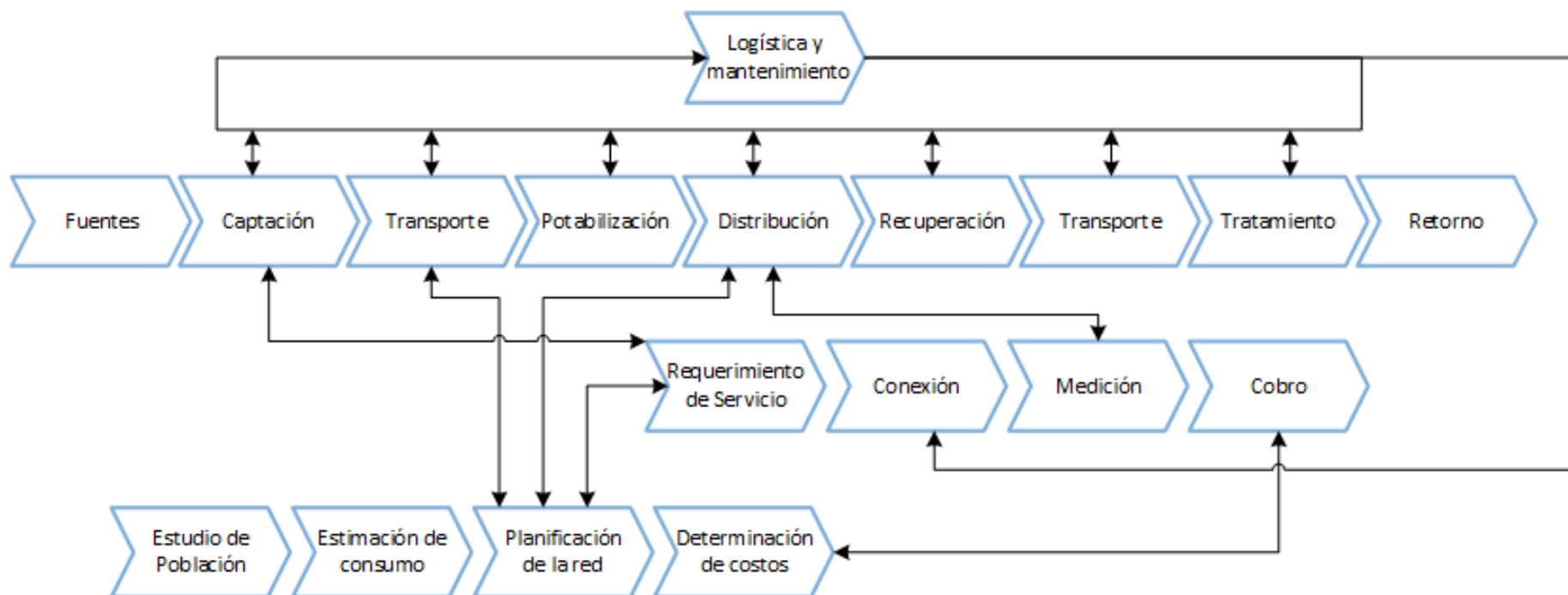
Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Hidrológicas

Las hidrológicas son una empresa de servicio cuya misión es proporcionar agua potable a una población, utilizando para ello las fuentes que proporciona la naturaleza, procesando el agua y devolviéndola al ambiente.





Finanzas
Contabilidad
Recursos humanos
Relaciones industriales
Protección integral
Relaciones con otros organismos y público en general



Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Potabilización

Potabilización

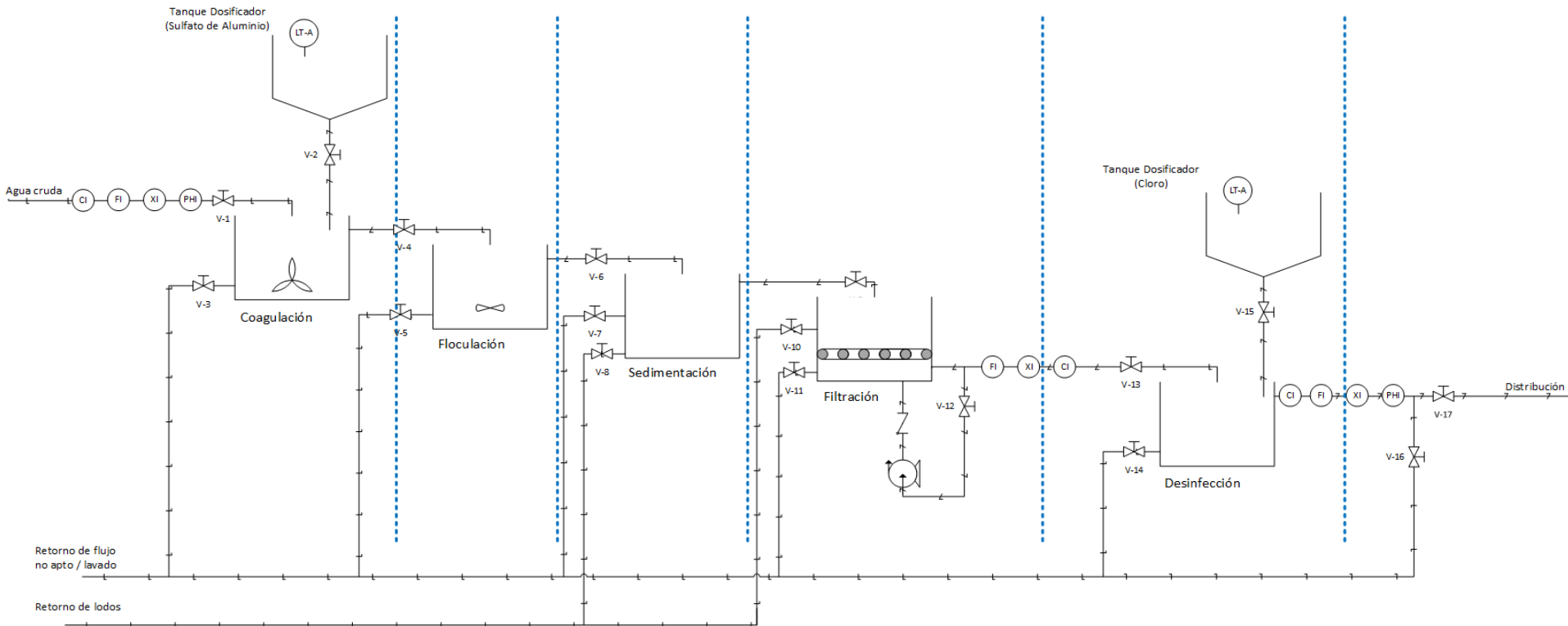
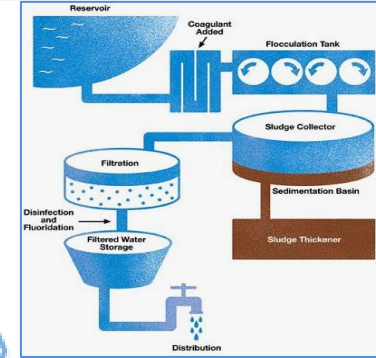
Coagulación

Floculación

Sedimentación

Filtración

Desinfección



Turbidez:

- Grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.
- Agua cruda menor a 100 NTU. De superar los 100 NTU, se requiere mayor cantidad de coagulante, afectando costos.
- Consumo humano a menos de 2 NTU.
- Instrumento: Turbidímetro.

Color Aparente:

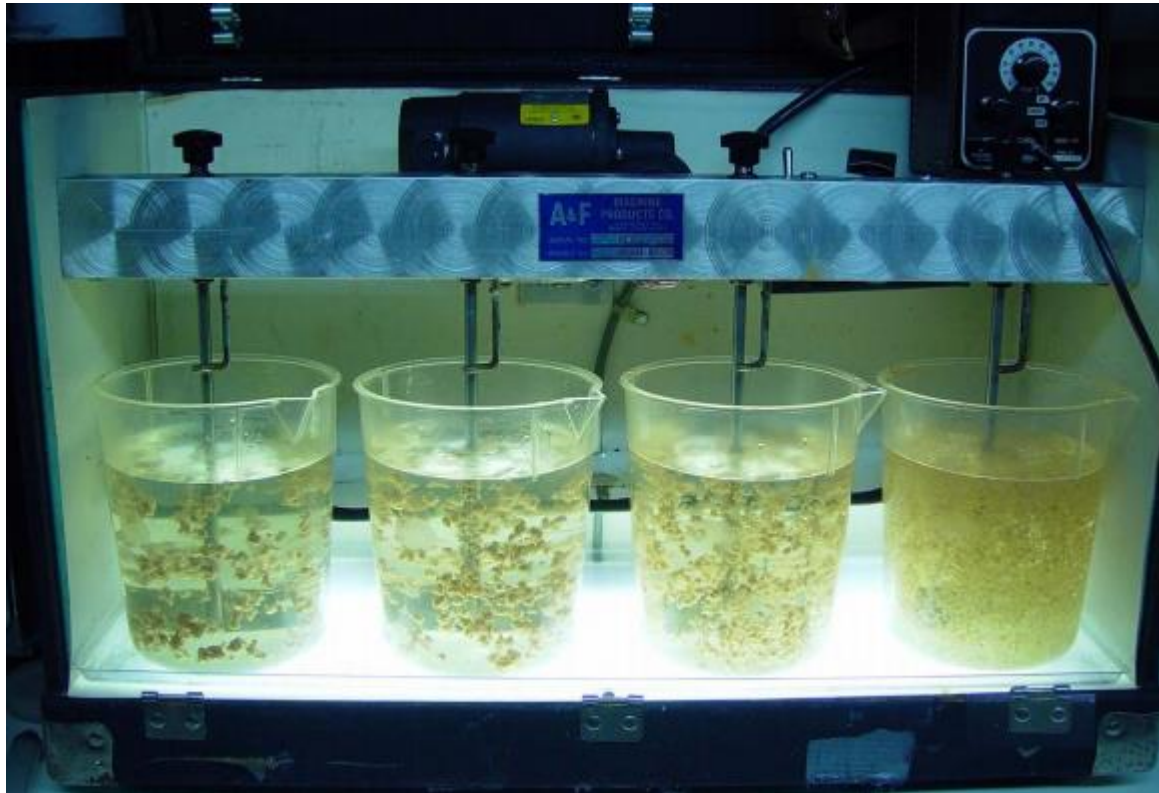
- Depende tanto de las sustancias que se encuentren disueltas, como de las partículas que se encuentren en suspensión.
- Aguas potabilizadas menor a 15 PCU.
- Instrumento: Espectrofotómetro.

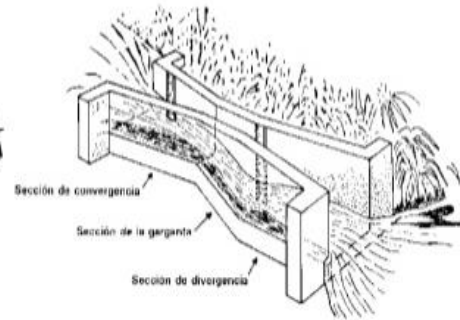
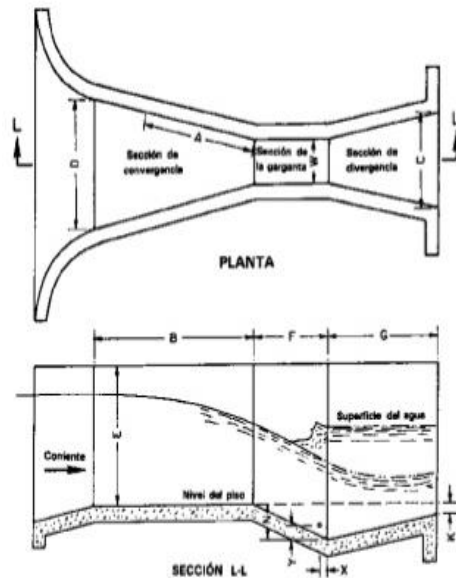
pH:

- Grado de acidez o basicidad de una solución.
- Valores entre 6,9 y 9.
- Instrumento: pH-metro.

Proporciona los rangos óptimos de la dosis de coagulante según las condiciones de agua a tratar, para llevar a cabo la coagulación

Simula las condiciones en que se realiza el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, partiendo de varias muestras de agua cruda y añadiendo en cada muestra dosis diferentes de coagulante.





La canaleta Parshall presenta tres zonas o secciones principales:

- Sección de convergencia.
- Sección de la garganta.
- Sección de divergencia.

Entrada:

Agua cruda, captada de una fuente.

Salida:

Agua con químicos coagulantes

Proceso:

Se trata de realizar una mezcla rápida mientras se añaden los químicos coagulantes.

El tiempo de residencia es corto, dependerá del flujo de entrada adecuado al resalto hidráulico existente.

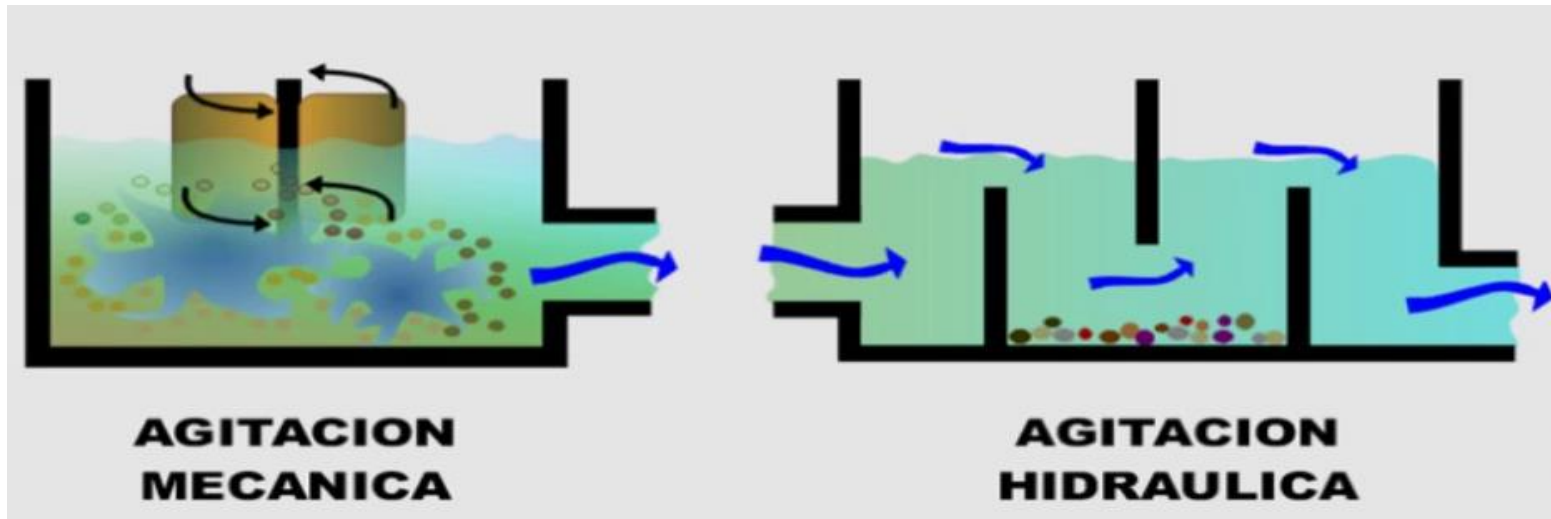
Los químicos permiten la reacción de las partículas coloidales.

Potabilización

Condiciones de Operación de la Unidad de Coagulación

Estado Condición	Flujo	Recursos	Proceso
Normal	$Q_i \approx Q_p \approx Q_o$ $NTU < 100$ $6,5 < pH < 9$	Cantidad suficiente de químicos para adicionar. Sensores funcionales (recurso humano o tecnológico). Válvula de salida abierta, en funcionamiento. Válvula de entrada abierta, en funcionamiento.	Cantidad de coagulante adecuada.
Degradado	$Q_i \ll Q_p, Q_i \gg Q_p$ $Q_o \ll Q_p, Q_o \gg Q_p$ $NTU > 100$ $pH < 6,5, pH > 9$	Cantidad limitada o nula de químicos para adicionar. Sensores en falla (falta de personal, falla en dispositivos) Válvulas con fallas mecánicas, sin interrupción total de flujo. Mantenimiento de la unidad.	Cantidad de coagulante fuera del rango ideal.
Falla	$Q_i \approx 0$	Válvula de entrada en falla, interrupción del flujo.	

Q_p = Caudal de producción



Entrada:

Agua con coagulante +
químicos añadidos.

Salida:

Agua con flóculos.

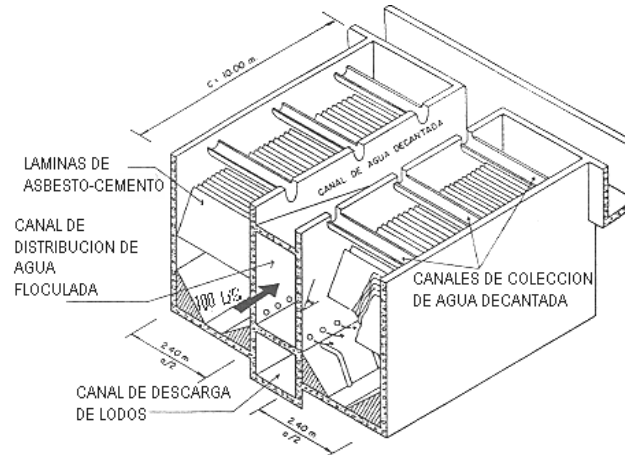
Proceso:

Se realiza una mezcla lenta para permitir la aglomeración de partículas coloidales.

Tiempo de retención entre 20 y 30 min, dependiendo del estudio de jarras.

Agitador mecánico en el caso de estudio, regulación de frecuencia según cálculos de gradiente.

Estado Condición	Flujo	Recursos	Proceso
Normal	$Q_i \approx Q_p \approx Q_o$ $NTU < 100$ $6,5 < pH < 9$ Nivel del tanque adecuado.	Sensores funcionales (recurso humano o tecnológico). Válvula de salida abierta, en funcionamiento. Válvula de entrada abierta, en funcionamiento. Válvula de desagüe cerrada, en funcionamiento. Mezclador mecánico en funcionamiento.	Cumplimiento del gradiente de velocidad y tiempo de retención, según los cálculos. Formación de flóculos.
Degradado	$Q_i \ll Q_p, Q_i \gg Q_p$ $Q_o \ll Q_p, Q_o \gg Q_p$ $NTU > 100$ $pH < 6,5, pH > 9$ Nivel por debajo o por encima del ideal	Sensores en falla (falta de personal, falla en dispositivos) Válvulas con fallas mecánicas, sin interrupción total de flujo, o sin exceso de pérdidas en el caso del desagüe. Mantenimiento de la unidad.	Poca formación de flóculos (denota falla en cálculos de gradiente, frecuencia de aspas o coagulante de la unidad anterior)
Falla	$Q_i \approx 0$	Válvula de entrada en falla, interrupción del flujo. Válvula de desagüe en falla, pérdida del fluido.	



Entrada:

Agua con flóculos formados

Salida:

Agua laminar sin flóculos.

Proceso:

Tanque con láminas inclinadas 60° que retienen los flóculos en suspensión provenientes de la unidad anterior.

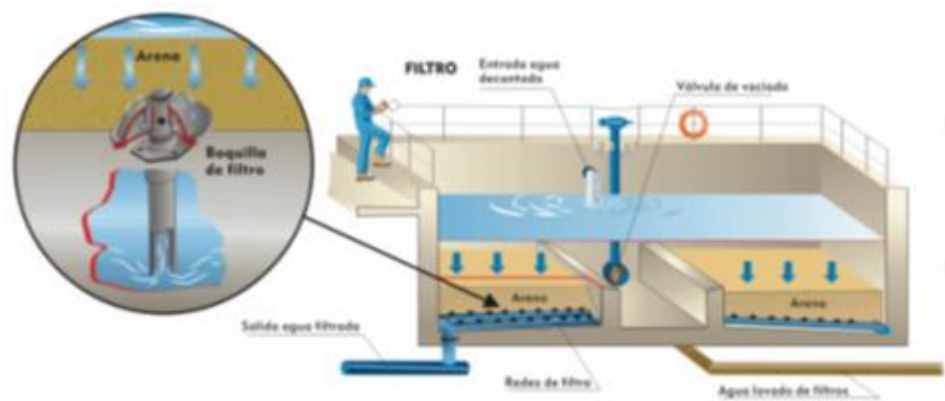
Tiempo de retención entre 2 y 4 h, dependiendo del estudio de jarras.

El flujo que pasa a la siguiente unidad es recolectado por canales en la parte superior del tanque.

Es necesario realizar lavados periódicamente, dependiendo de la calidad de la fuente.

La condición de lavado será determinada por la turbidez o la altura en el tanque.

Estado Condición	Flujo	Recursos	Proceso
Normal	$Q_i \approx Q_p \approx Q_o$ $NTU < 10$ $6,5 < pH < 9$ Nivel del líquido dentro de los límites.	Sensores funcionales (recurso humano o tecnológico). Válvula de salida abierta, en funcionamiento. Válvula de entrada abierta, en funcionamiento. Válvula de desagüe cerrada, en funcionamiento.	Cumplimiento del gradiente de velocidad y tiempo de retención, según los cálculos. Formación de flóculos.
Degradado	$Q_i \ll Q_p, Q_i \gg Q_p$ $Q_o \ll Q_p, Q_o \gg Q_p$ $NTU > 10$ $pH < 6,5, pH > 9$ Nivel del agua por encima por de lo esperado.	Sensores en falla (falta de personal, falla en dispositivos) Válvulas con fallas mecánicas, sin interrupción total de flujo, o sin exceso de perdidas en el caso del desagüe. Mantenimiento de la unidad.	Poca formación de flóculos (denota falla en cálculos de gradiente, frecuencia de aspas o coagulante de la unidad anterior)
Falla	$Q_i \approx 0$ Nivel del tanque por debajo de lo esperado, el proceso se detiene.	Válvula de entrada en falla, interrupción del flujo. Válvula de desagüe en falla, pérdida del fluido o imposibilidad de realizar el vaciado de lodos.	



Entrada:

Agua clarificada

Salida:

Agua sin sedimentos

Proceso:

Se hace pasar el agua por un medio poroso para retener los sólidos que la decantación no logró remover.

Tiempo de filtrado en filtros rápidos $120\text{-}360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

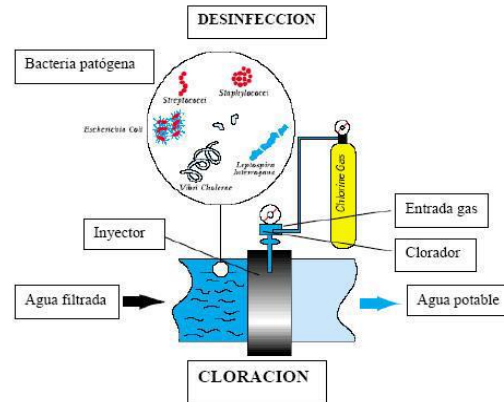
Es necesario realizar retrolavados periódicamente con agua ya purificada, dependiendo de la calidad de la fuente, buscando que el gasto del recurso sea mínimo.

La condición de lavado será determinada por la turbidez o la altura en el tanque.

Potabilización

Condiciones de Operación de la Unidad de Filtración

Estado Condición	Flujo	Recursos	Proceso
Normal	$Q_i \approx Q_p \approx Q_o$ $NTU < 5$ $6,5 < pH < 9$ Nivel del líquido dentro de los límites.	Sensores funcionales (recurso humano o tecnológico). Válvula de salida abierta, en funcionamiento. Válvula de entrada abierta, en funcionamiento. Válvula de desagüe cerrada, en funcionamiento. Lecho filtrante no colmatado.	Tiempo de retención ideal para evitar el aumento del nivel.
Degradado	$Q_i \ll Q_p, Q_i \gg Q_p$ $Q_o \ll Q_p, Q_o \gg Q_p$ $NTU > 5$ $pH < 6,5, pH > 9$ Nivel del agua por encima de lo esperado.	Sensores en falla (falta de personal, falla en dispositivos) Válvulas con fallas mecánicas, sin interrupción total de flujo, o sin exceso de pérdidas en el caso del desagüe. Mantenimiento de la unidad.	Tiempos de retención altos, denota faltas previas en el proceso y pronta colmatación de filtros.
Falla	$Q_i \approx 0$ Nivel del agua en mínimo, se debe parar el proceso.	Válvula de entrada en falla, interrupción del flujo. Válvula de desagüe en falla, pérdida del fluido a tratar.	



Entrada:
Agua filtrada

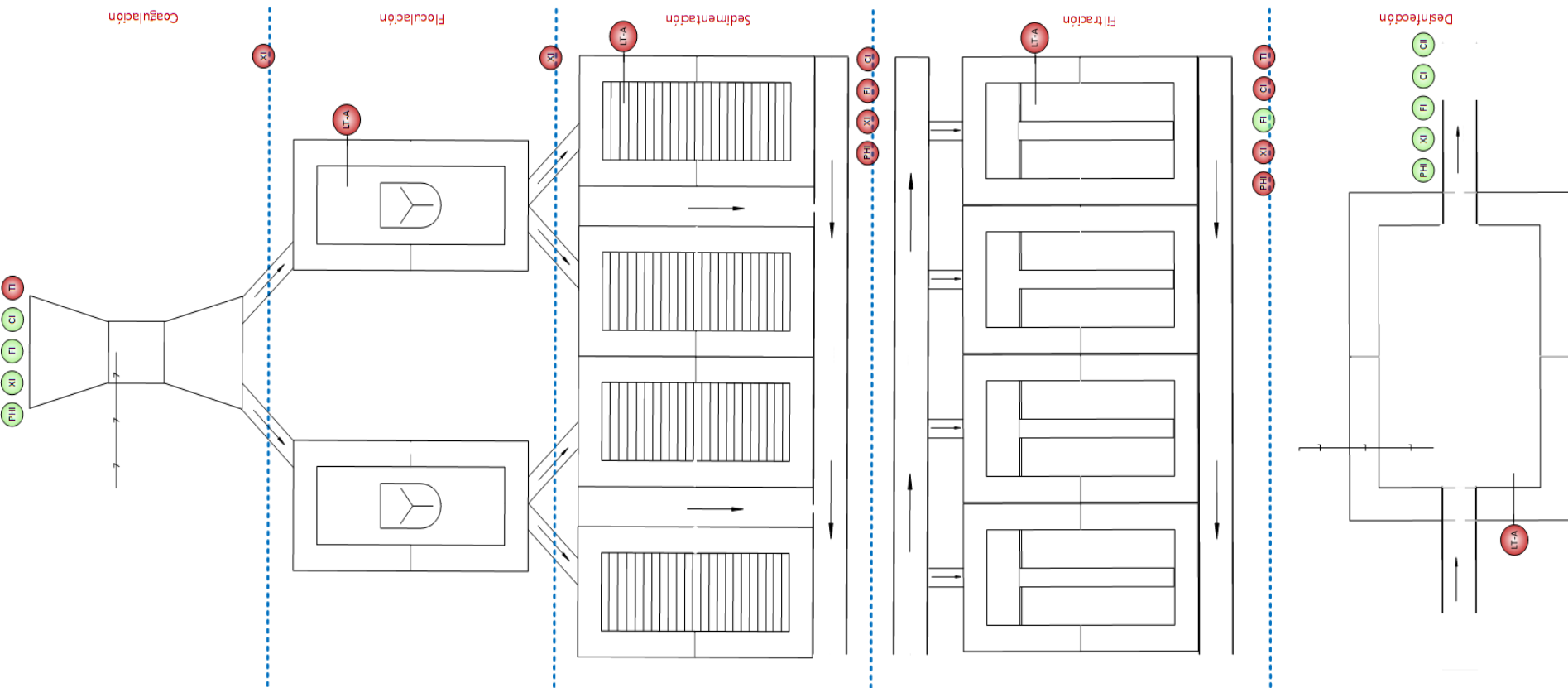
Salida:
Agua potabilizada

Proceso:

Se hace uso de agentes químicos que destruyen los microorganismos.

Dosificación de desinfectante de forma constante, determinado en el laboratorio, según el cloro residual adecuado en distribución.

Estado Condición	Flujo	Recursos	Proceso
Normal	$Q_i \approx Q_p \approx Q_o$ $NTU < 1$ $pH < 7,5$ Nivel del líquido dentro de los límites.	Sensores funcionales (recurso humano o tecnológico). Válvula de salida abierta, en funcionamiento. Válvula de entrada abierta, en funcionamiento. Válvula de desagüe cerrada, en funcionamiento. Químicos disponibles.	Cantidad ideal de químicos, según estudios en el laboratorio.
Degradado	$Q_i \ll Q_p, Q_i \gg Q_p$ $Q_o \ll Q_p, Q_o \gg Q_p$ $NTU > 1$ $pH < 5, pH > 7,5$ Nivel del agua fuera del rango de operación.	Sensores en falla (falta de personal, falla en dispositivos) Válvulas con fallas mecánicas, sin interrupción total de flujo, o sin exceso de perdidas en el caso del desagüe. Mantenimiento de la unidad. Químicos limitados o nulos.	Fallas en las cantidades de químicos a añadir.
Falla	$Q_i \approx 0$	Válvula de entrada en falla, interrupción del flujo. Válvula de desagüe en falla, pérdida del fluido a tratar.	



Leyenda

FI	Indicador de Flujo	LT-A	Sensor de nivel
XI	Indicador de Turbiedad		Agitador (Mezcla lenta)
PHI	Indicador de pH		Adición de coagulante
CI	Indicador de color		Adición de Cloro
TI	Indicador de Temperatura		Medición existente
CII	Indicador de Cloro residual		Medición faltante

Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Caso de Uso



Se toma como caso de estudio la Planta de Potabilización "Dr. Eduardo Jáuregui".

Caudal de Producción: 300 L/s.

Consta de:

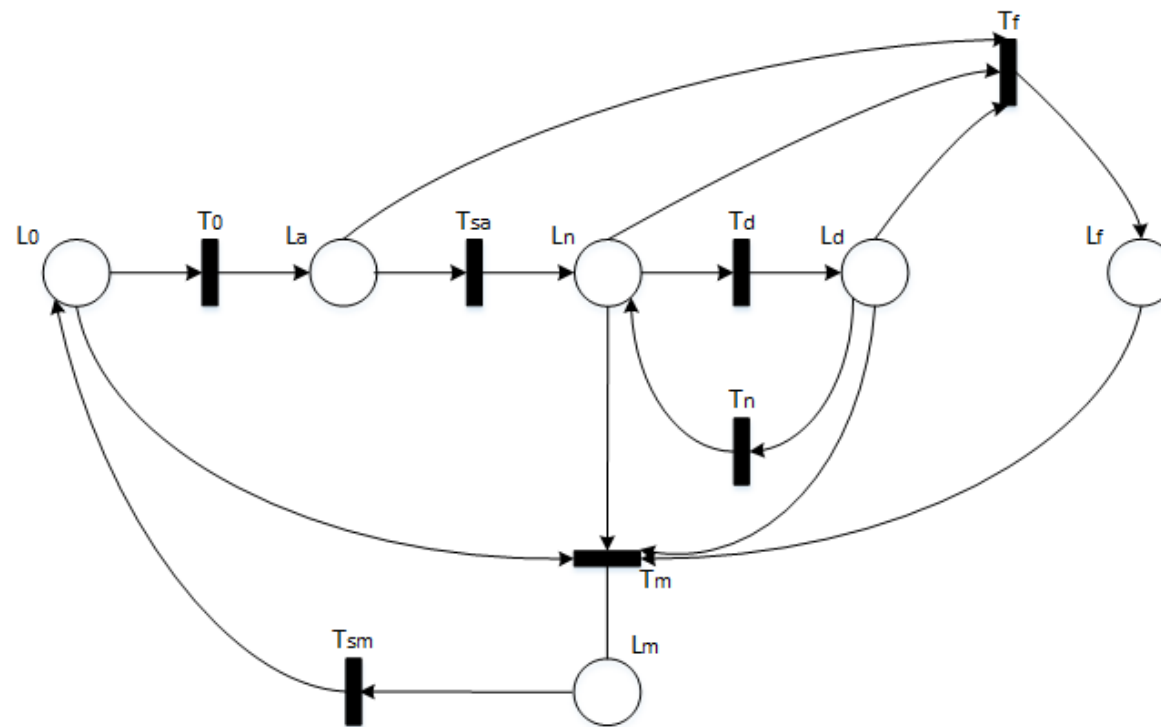
- 1 Canal Parshall
- 2 Floculadores de dos cabinas
- 2 Sedimentadores
- 6 Filtros
- 1 unidad de desinfección

Modelo Discreto del Comportamiento de una Unidad

Toda unidad inicia, opera y se detiene, asociado a estados de arranque, operación y parada.

Arranque (A)
Operando (O)
Parada (P)

Normal (N)
Degradado (D)
Fallo (F)



Estados	
L_0	Unidad disponible
L_a	Unidad en arranque
L_n	Condición normal
L_d	Condición degradada
L_f	Condición de falla
L_m	Mantenimiento de la unidad
Eventos	
T_0	Inicio
T_{sa}	Fin de secuencia de arranque
T_n	Modo normal
T_d	Modo degradado
T_f	Modo falla
T_m	Mantenimiento
T_{sm}	Fin de secuencia de mantenimiento

Modelo Genérico de un Tanque

$$q_s = Q_2 C d \sqrt{2gh}$$

$$q_i = \Phi$$

$$q_o = \begin{cases} \text{si } q_s > \Phi_{demanda} & \rightarrow q_o = \Phi_{demanda} \\ \text{cc} & \rightarrow q_o = q_s \end{cases}$$

Condición Normal: $H_{min} < H < H_{max}$

$$\dot{h} = \frac{1}{A}(V_1 q_i - V_2 q_o)$$

Condición de desborde: $H > H_{max}$

$$\dot{h} = \frac{1}{A}(V_1 q_i - V_2 q_o - V_3 (q_i - q_o))$$

Condición sin agua: $H < H_{min}$

$$\dot{h} = \frac{1}{A}(V_1 q_i - V_2 q_o - Q_2 C d \sqrt{2gh_{min}})$$

Propuesta de Gemelo Digital

- Unidad de Coagulación

Modelo continuo para determinar la dosis de coagulante a añadir.
Modelo de Gestión de la unidad.

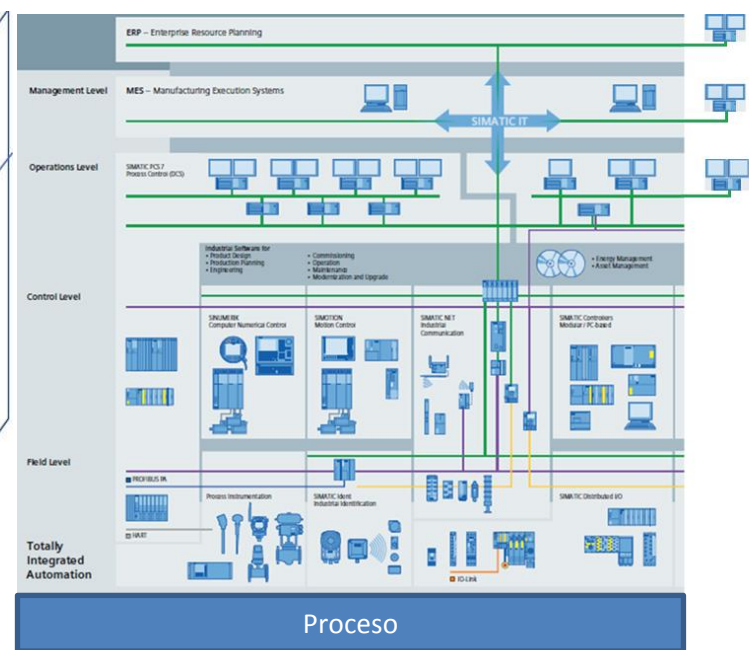
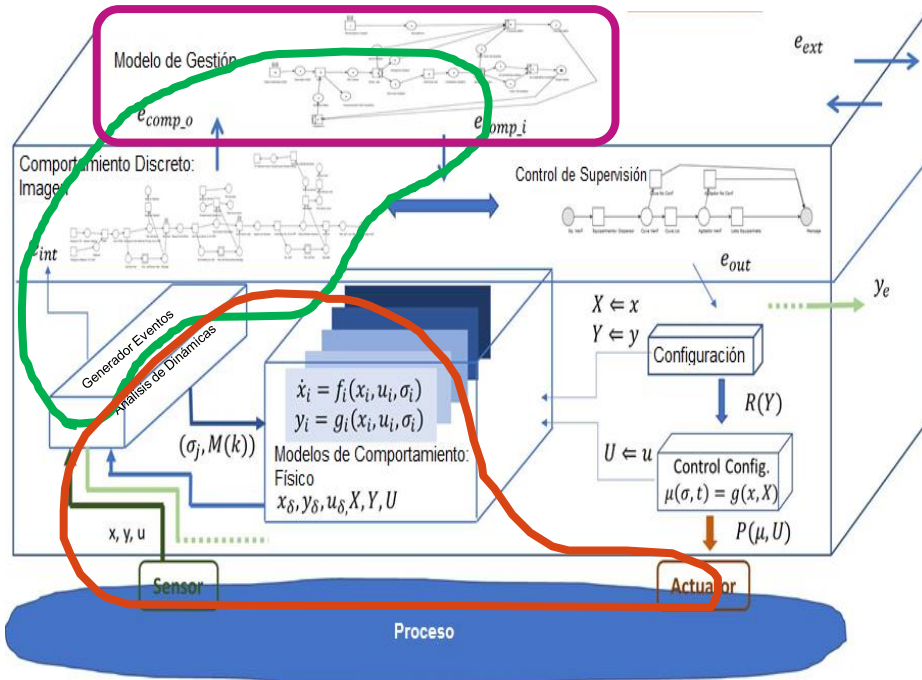
- Unidad de Sedimentación

Comportamiento de la unidad, utilizando Epanet.
Modelo de Gestión de la unidad.

- Interconexión de unidades

Monitoreo de ambas unidades haciendo uso de Matlab y Toolkit Epanet.

Propuesta de Gemelo Digital



Gestión

Producción

Unidades en producción

Epanet



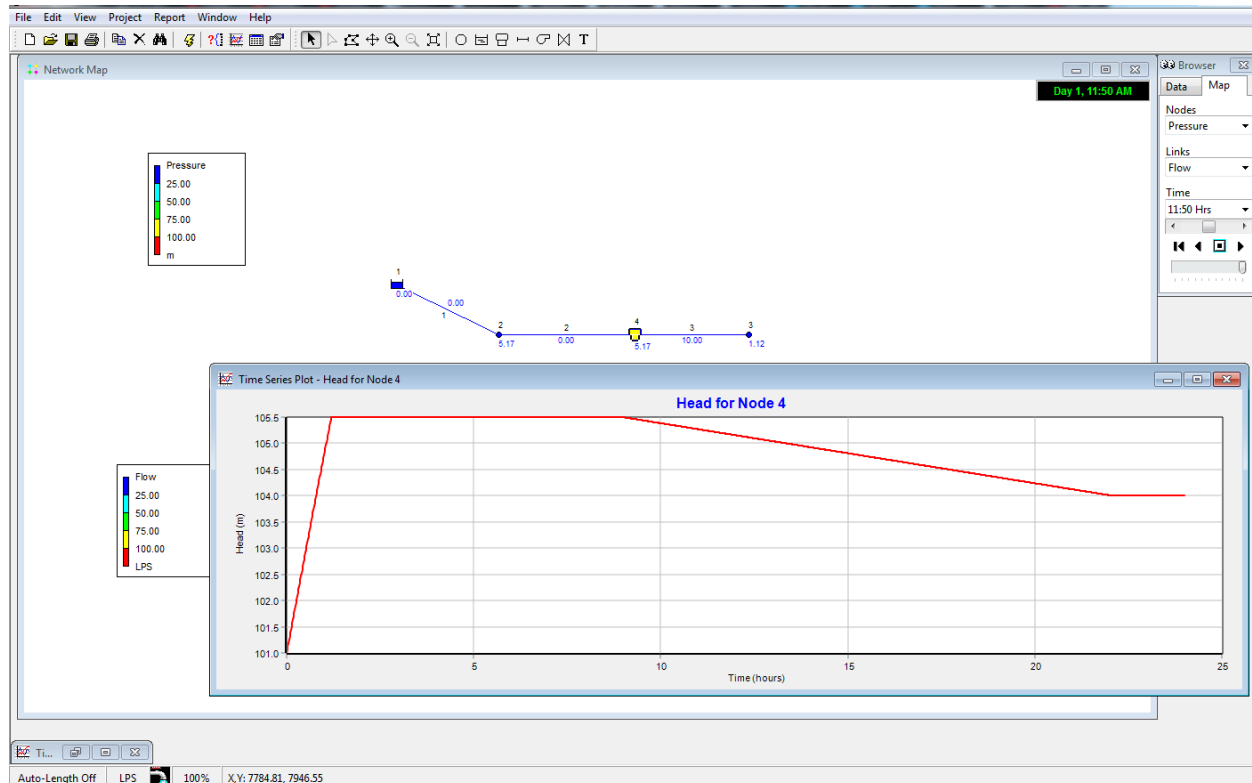
MATLAB



Epanet

Programa orientado al análisis de los procesos de distribución de agua y el seguimiento de calidad. Se conjugan algoritmos de cálculos e interfaz gráfica para plasmar los componentes de una red hidráulica.

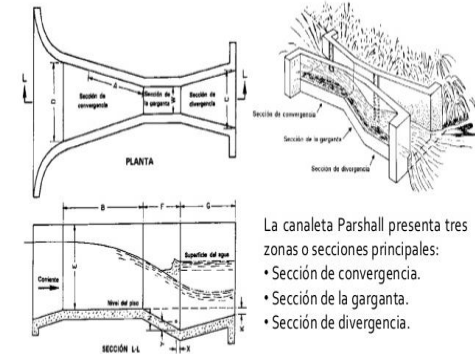
Representación	Elemento
•	Nodos
▤	Embalses
⊥	Tanques
—•—•—	Tuberías
—•⌞•—	Válvulas



Modelo Continuo de Coagulación

Datos

Datos	Valor mínimo	Valor máximo
Dosis Sulfato de Aluminio (<i>DSA</i>)	63 <i>kg/h</i>	252 <i>kg/h</i>
Turbidez (<i>T</i>)	12 <i>NTU</i>	1500 <i>NTU</i>
Color (<i>C</i>)	50 <i>UC</i>	9000 <i>UC</i>
pH (<i>Ph</i>)	6,9	7,2
Alcalinidad (<i>A</i>)	22 <i>mg/L</i>	27 <i>mg/L</i>

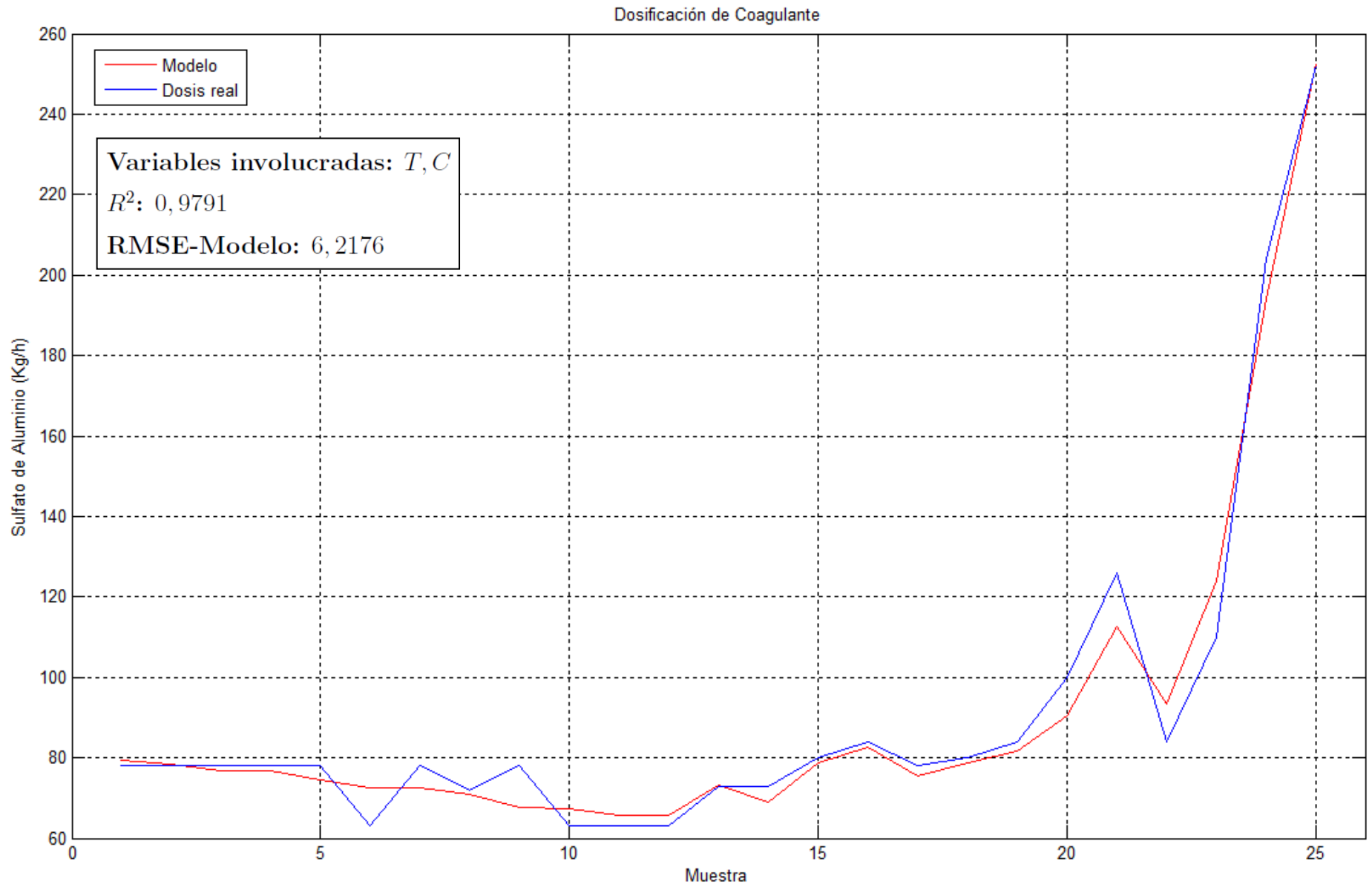


Modelo

$$DSA = \begin{cases} \text{si } NTU < 12 & \rightarrow DSA = 0 \\ \text{si } 12 \leq NTU < 100 & \rightarrow DSA = md1 \\ \text{si } NTU \geq 100 & \rightarrow DSA = md2 \end{cases}$$

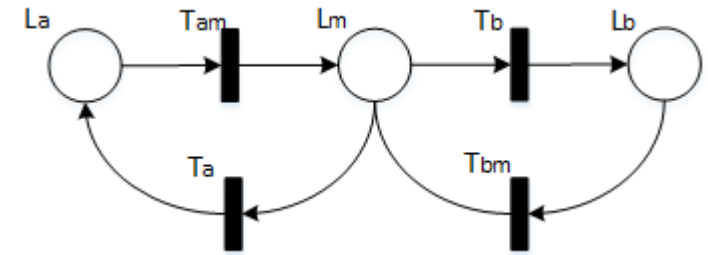
Donde,

$$\begin{cases} md1 = a_0 + a_1T + a_2C + a_3T^2 + a_4TC + a_5T^3 + a_6T^2C + a_7T^4 + a_8T^3C \\ md2 = b_0 + b_1T + b_2C + b_3T^2 + b_4TC + b_5C^2 + b_6T^2C + b_7TC^2 + b_8C^3 + b_9T^3 \end{cases}$$



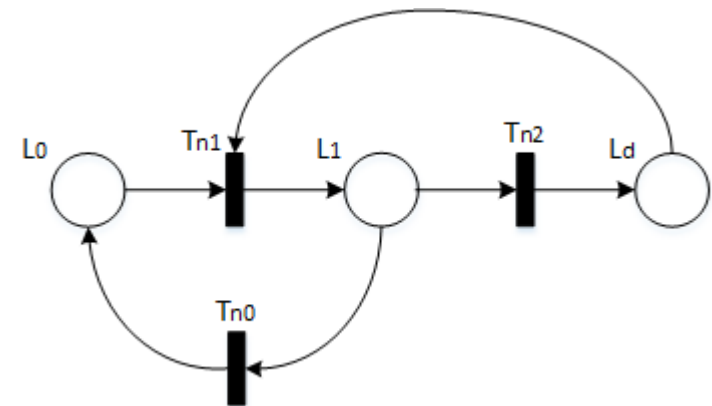
Valor de Turbidez de agua entrante

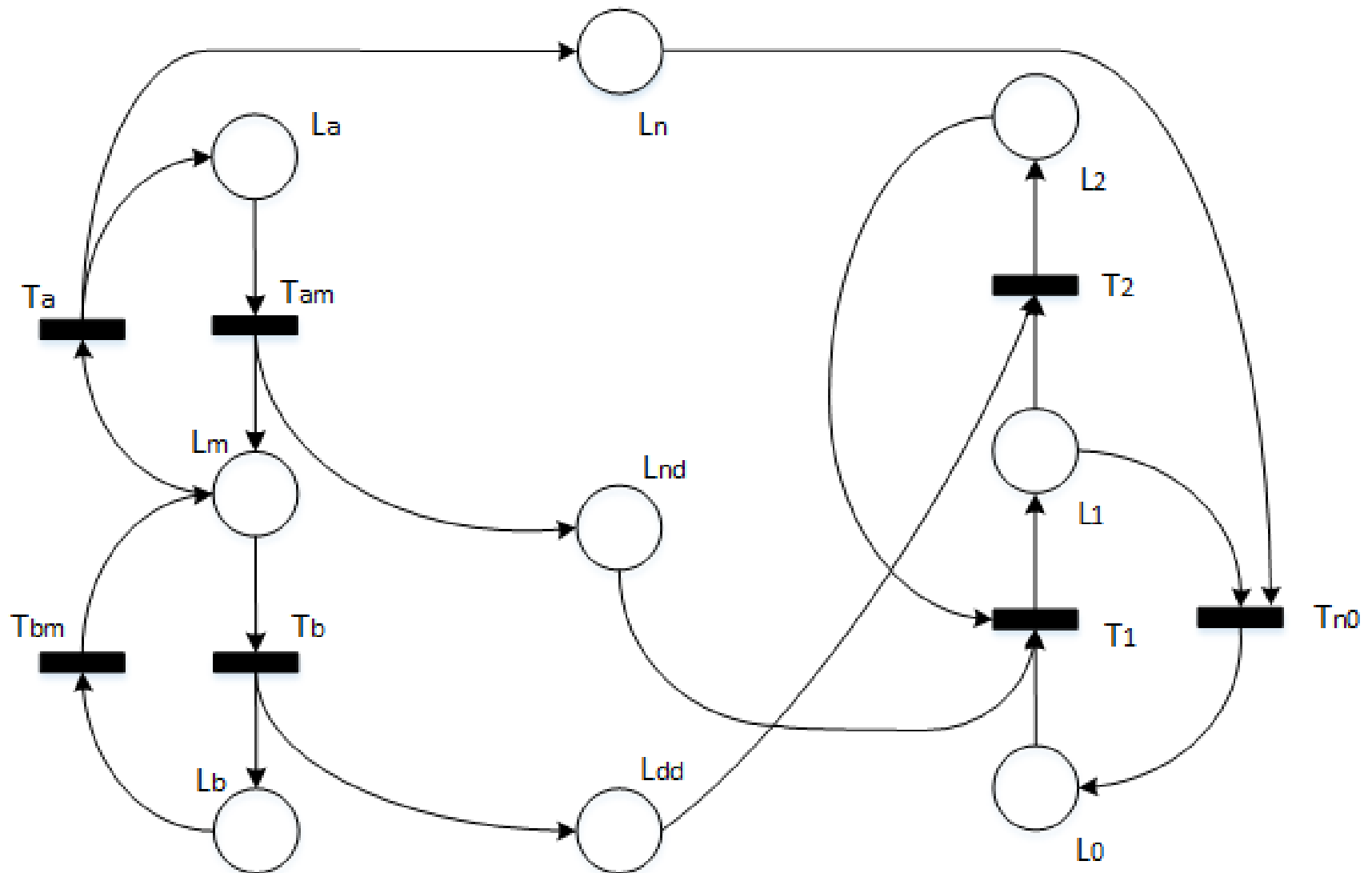
Estados		Eventos	
L_a	Calidad alta	T_a	Condición de calidad alta
L_m	Calidad media	T_{am}	Condición de calidad de alta a media
L_b	Calidad baja	T_b	Condición de calidad baja
-	-	T_{bm}	Condición de calidad de baja a media



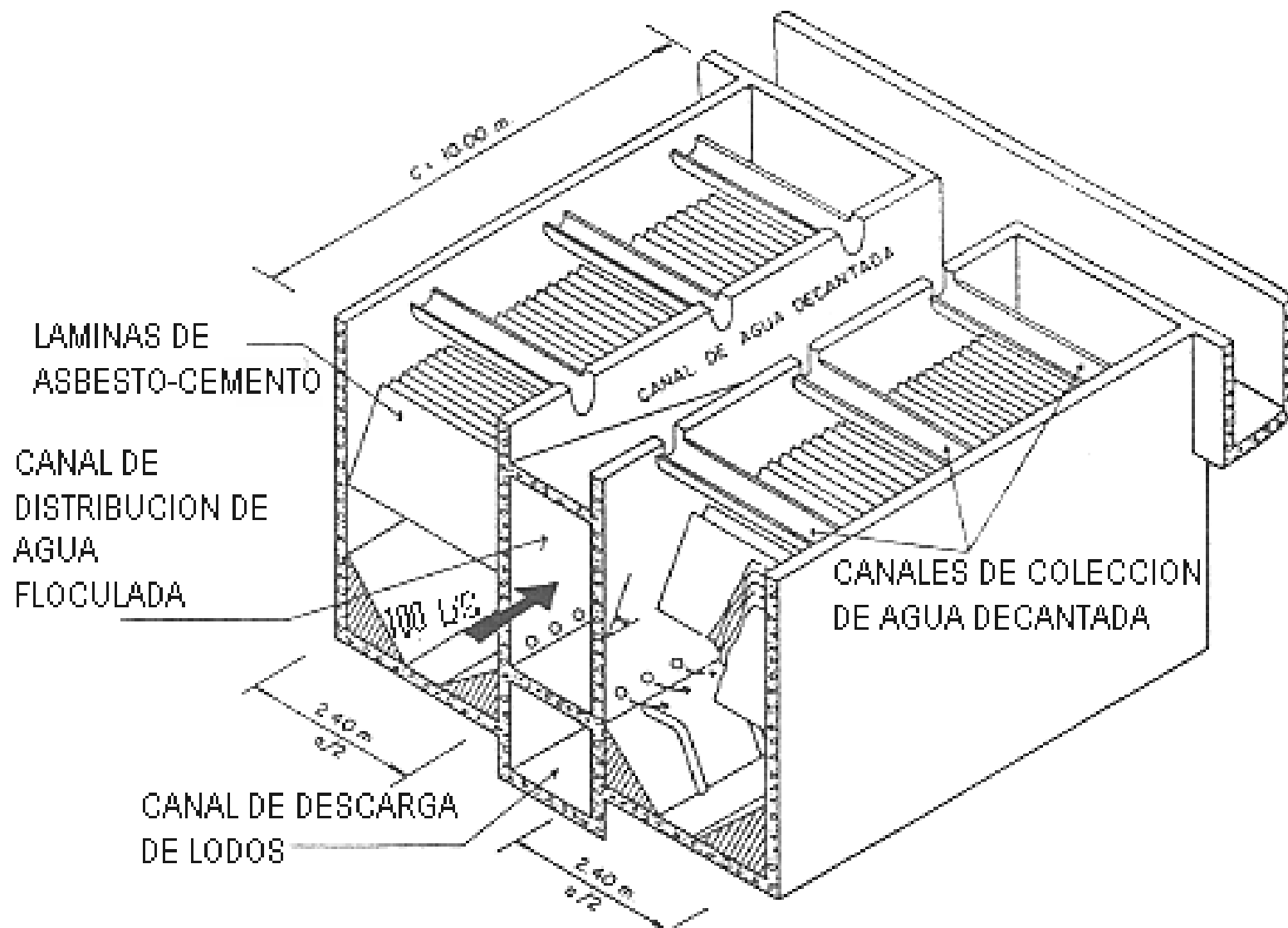
Condiciones de dosificación de coagulante

Estados		Eventos	
L_0	Unidad sin dosificar	T_{n0}	$T < 12$
L_1	Unidad con dosificación	T_{n1}	$12 \leq T < 100$
L_d	Unidad dosificando, en degradado	T_{n2}	$T \geq 100$

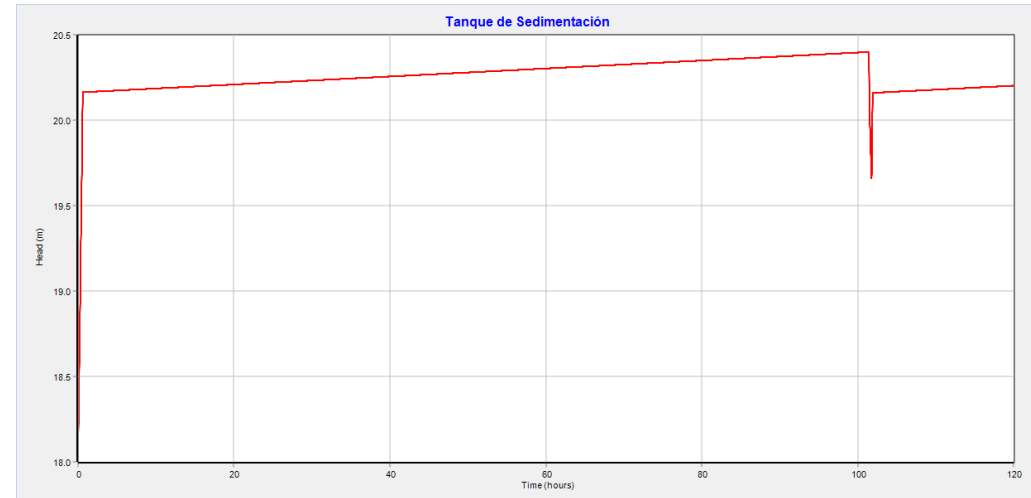
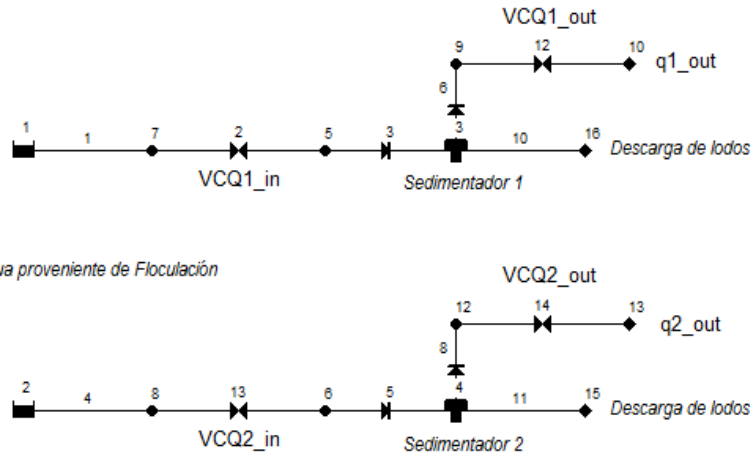




Modelo de Sedimentación



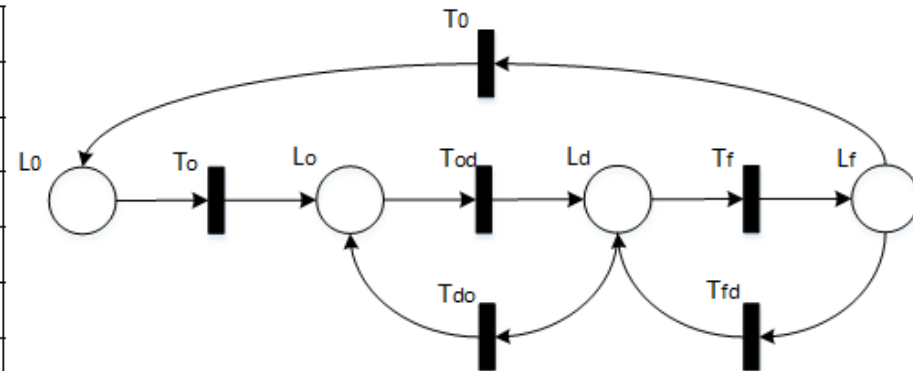
Modelo de Sedimentación



Nivel	Altura (m)	Operación
max-max	3,65	Desborde
max	3,45	Apertura de compuerta de lodos
min	3,16	Mínimo de operación
min-min	2,65	Cierre de compuerta de lodos

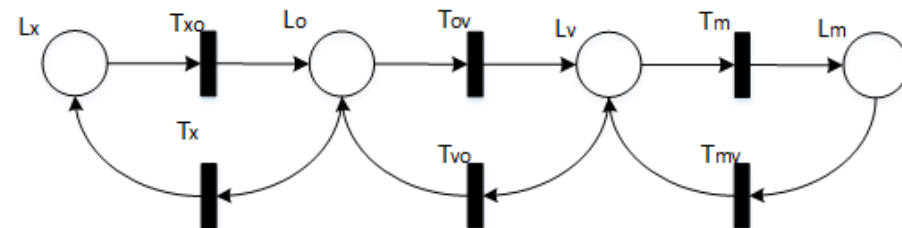
Valor de Caudal de entrada

Estados		Eventos	
L_0	Sin caudal	T_0	Sin caudal
L_o	Caudal de operación	T_o	Modo operación
L_d	Caudal en degradado	T_{od}	De operación normal a degradado
L_f	Caudal en falla	T_{do}	De degradado a operación normal
-	-	T_f	Modo falla
-	-	T_{fd}	De falla a degradado



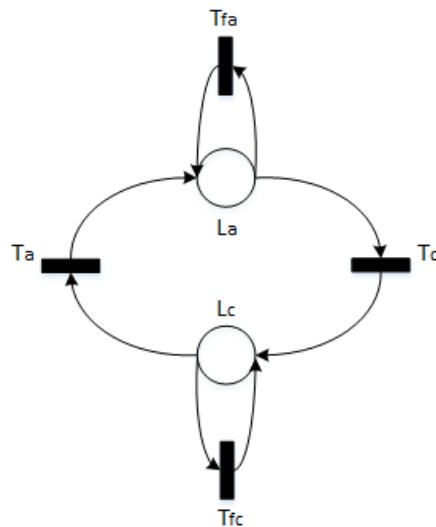
Altura en el tanque

Estados		Eventos	
L_x	Altura máxima	T_x	Desborde
L_o	Altura de operación	T_{xo}	Modo operación
L_v	Altura en vacío	T_{ov}	De operación a vacío
L_m	Altura mínima	T_{vo}	De vacío a operación
-	-	T_m	Altura mínima
-	-	T_{mv}	De mínimo a vacío



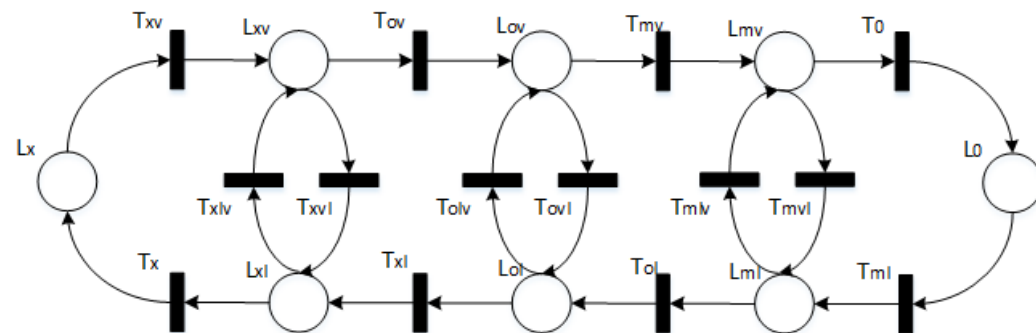
Estado de la compuerta de lodos

Estados	
L_a	Compuerta abierta
L_c	Compuerta cerrada
Eventos	
T_a	Abrir compuerta
T_{fa}	Falla en apertura
T_c	Cerrar compuerta
T_{fc}	Falla en cierre



Estado del tanque

Estados		Eventos	
L_x	Tanque en rango de saturación	T_x	Tanque saturado
L_{xv}	Tanque saturado vaciando	T_{xv}	Tanque saturado vaciando
L_{xl}	Tanque saturado llenando	T_{xl}	Tanque de operación a saturado
L_{ov}	Tanque en operación vaciando	T_{xlv}	Tanque saturado vaciando
L_{ol}	Tanque en operación llenando	T_{xvl}	Tanque saturado llenando
L_{mv}	Tanque en rango mínimo vaciando	T_{ov}	Tanque de saturado a operación
L_{ml}	Tanque en rango mínimo llenando	T_{ol}	Tanque de mínimo a operación
L_0	Tanque vacío	T_{olv}	Tanque en operación vaciando
-	-	T_{ovl}	Tanque en operación llenando
-	-	T_{mv}	Tanque de operación a mínimo
-	-	T_{ml}	Tanque de vacío a mínimo
-	-	T_{mlv}	Tanque en mínimo vaciando
-	-	T_{mvl}	Tanque en mínimo llenando
-	-	T_0	Tanque vacío



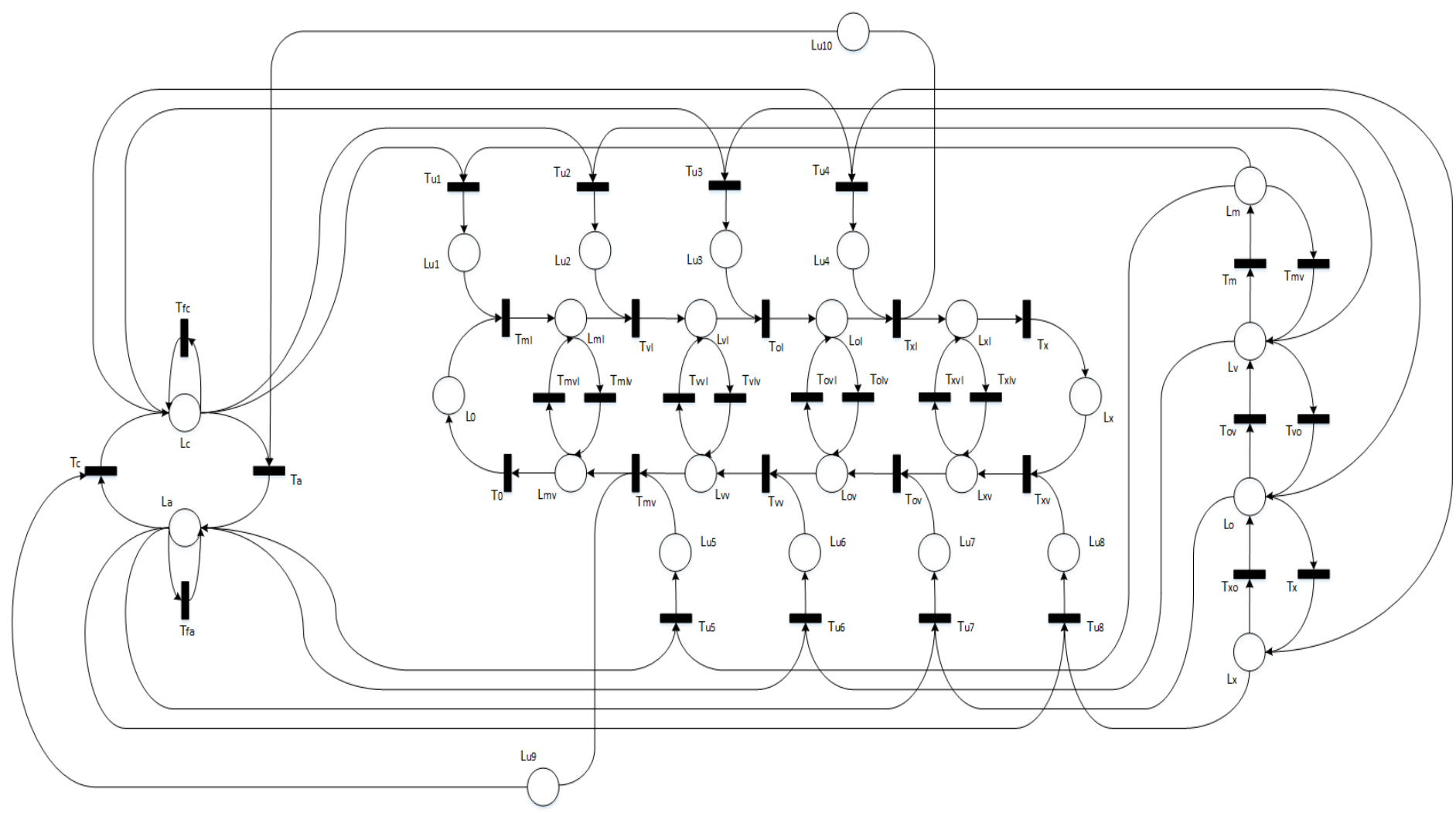
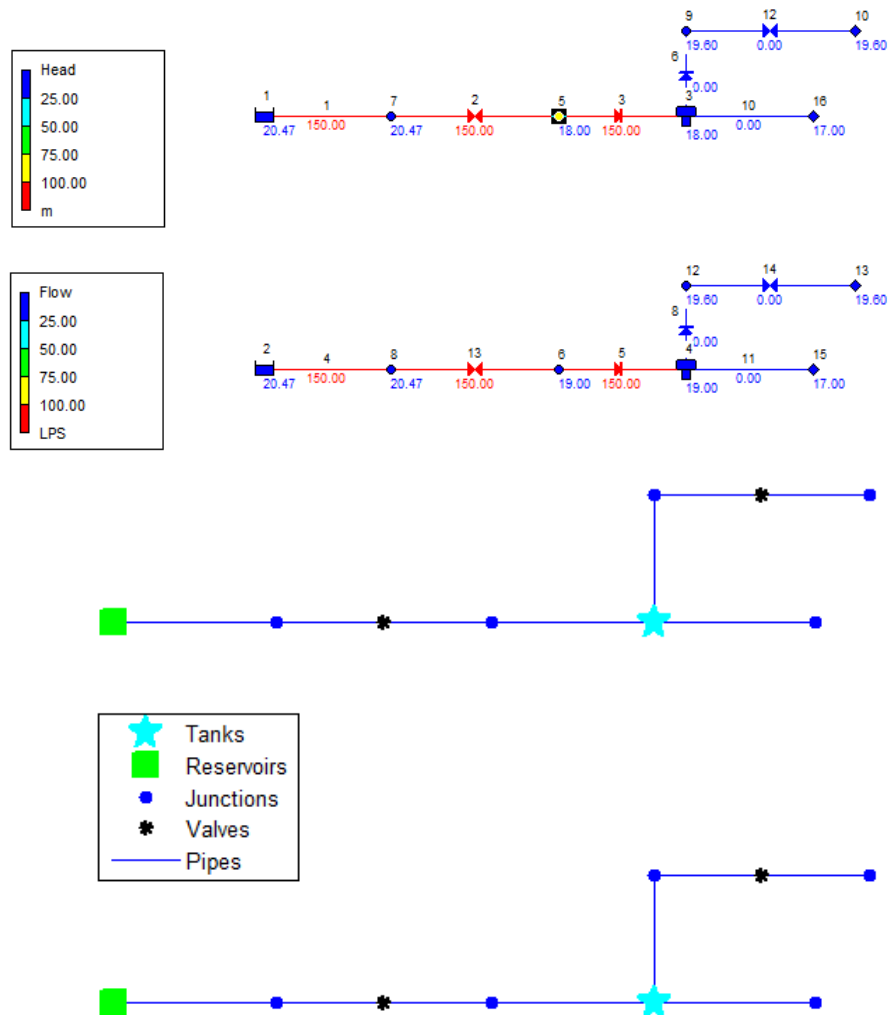


Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- ⊙ Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

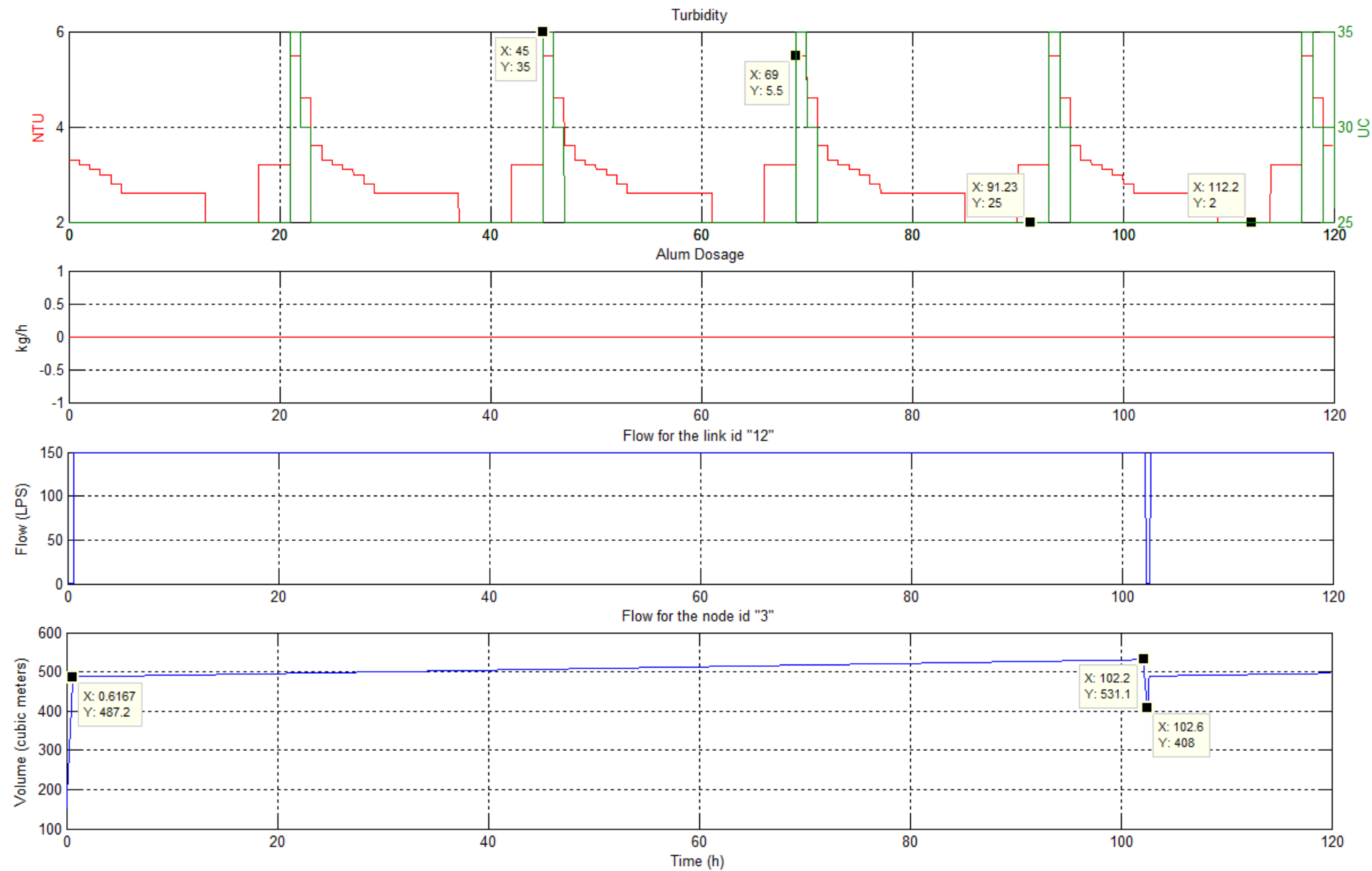
Demostración

Epanet Matlab Toolkit como herramienta de interconexión.



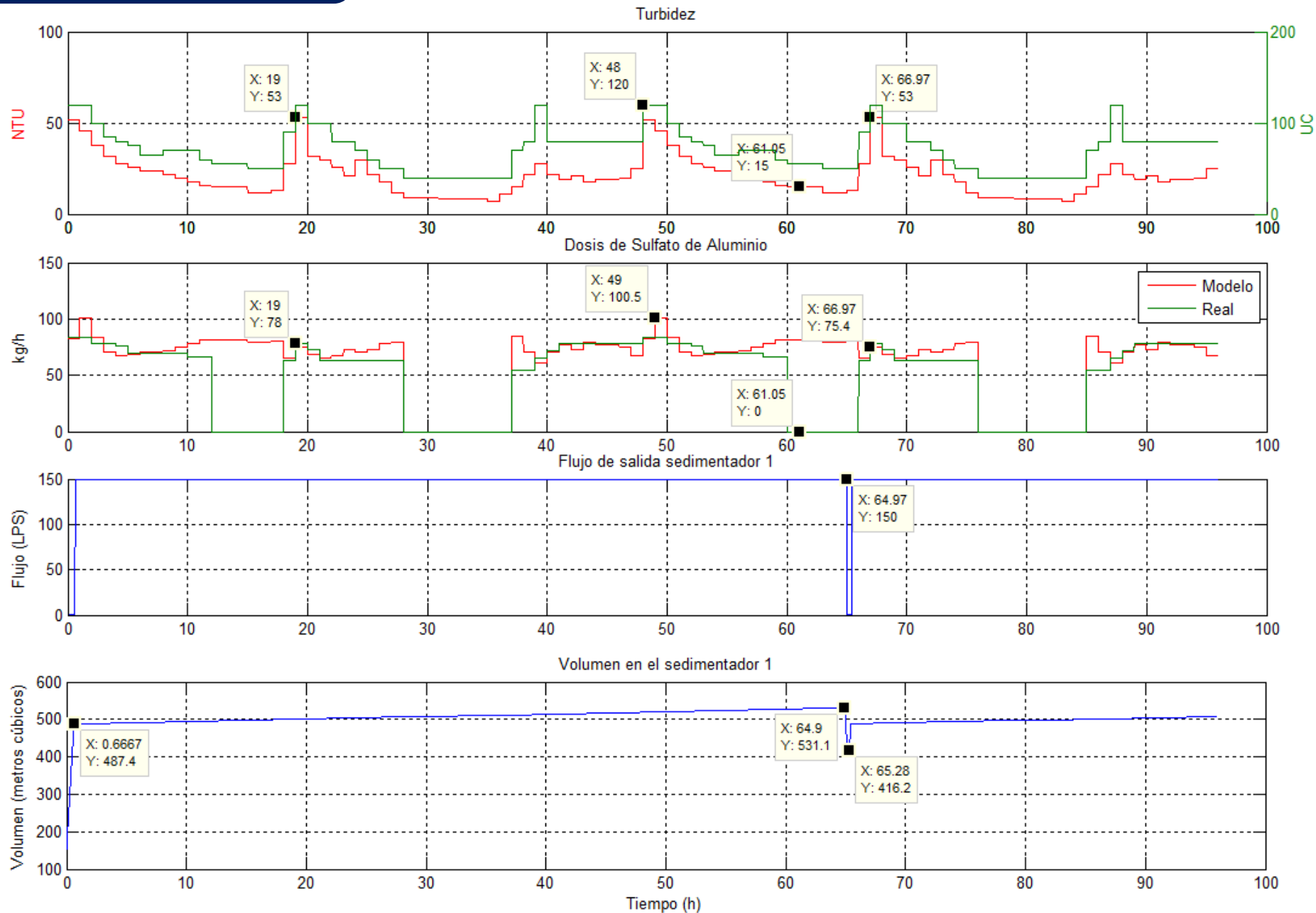
- Escenario ideal.
- Rangos bajos de turbidez, de modo que en el sedimentador se mantengan los lodos por debajo del nivel de mantenimiento durante más tiempo.
- Es utilizado uno de los conjuntos de datos cuya turbidez inicial máxima es de 5.5 NTU, este conjunto se replica durante cinco días.

La descarga de lodos ocurre cerca de 4 días y 11 horas de funcionamiento continuo, coincidiendo con lo descrito por los operadores en planta.



- Turbidez entre 1 NTU y 99 NTU.
- Adición de coagulante al proceso
- Colmatación de sedimentadores más rápidamente.

En este caso el nivel máximo de turbidez se ubica en 53 NTU con un color de 120 UC, con la inclusión de algunos valores de turbidez por debajo de 12 NTU, el sedimentador se colmata a los 3 días y 14 horas de funcionamiento aproximadamente.

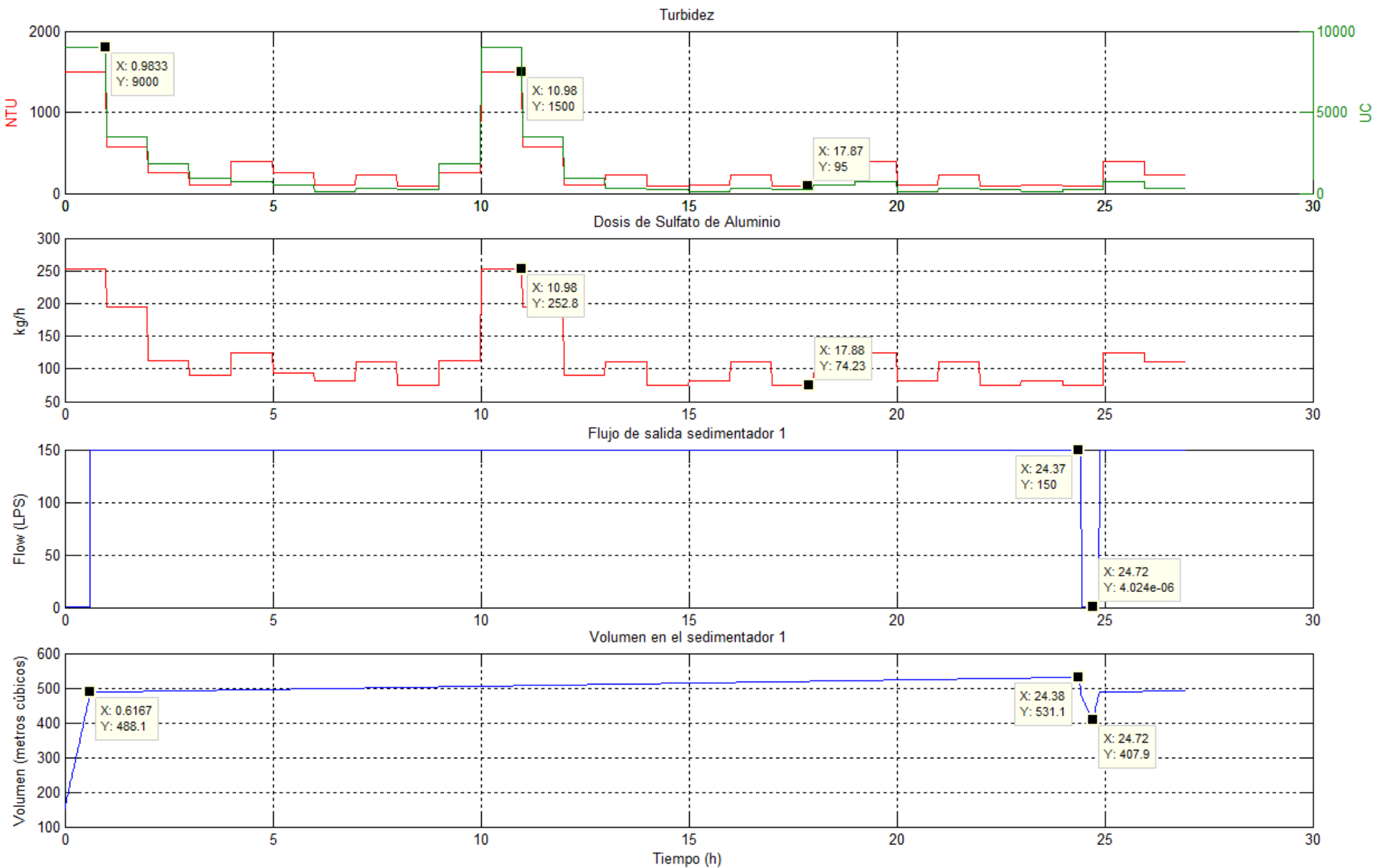


- Turbidez alta durante todo un día.
- Se utilizaron los datos superiores a 95 NTU de la planta real, tomados como combinación de los conjuntos de datos iniciales.

Con un nivel máximo de turbidez de 1500 NTU y 9000 UC, la dosis de coagulante suministrada es de 252,8 kg/h en la primera unidad, alcanzando que el sedimentador se colmate en 1 día y 10 horas.

Demostración

Escenario 3

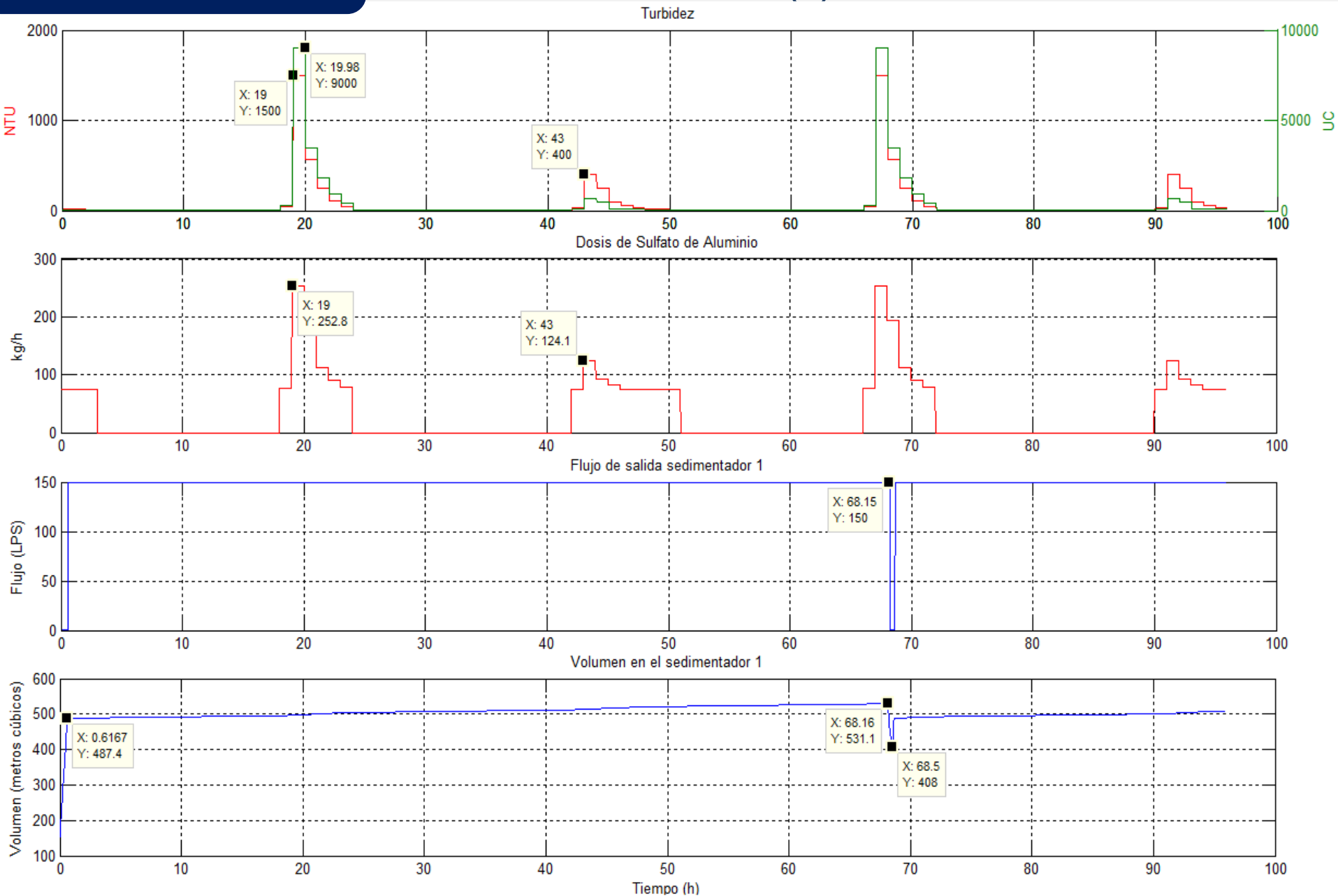


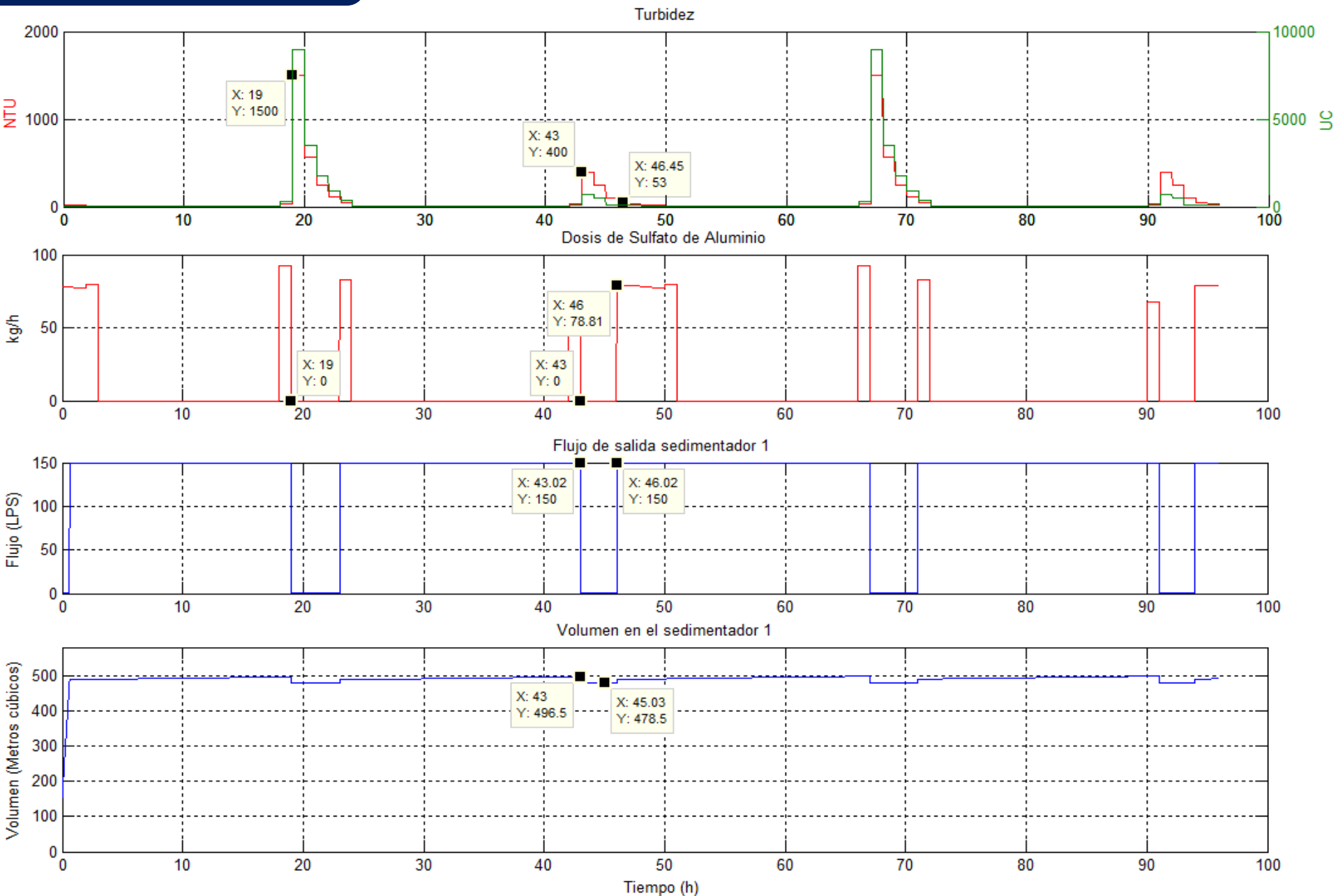
El cuarto escenario consiste en mostrar las dos opciones operativas desencadenadas por un nivel alto de turbidez en el agua entrante, considerando un rango alto a partir de 100 NTU para la simulación. Este caso incluye el aumento de la dosis de coagulante como se observa en el escenario 3 o el cierre del flujo entrante, que eventualmente interrumpe la salida hacia los filtros. El actuar ante estas opciones depende exclusivamente de los lineamientos de la planta y la decisión del operador.

Se utilizaron dos de los conjuntos de datos que contienen los rangos más altos de color y turbidez inicial; así en caso de mantener la compuerta de entrada a la planta abierta, se observa el aumento de coagulante que se debe añadir al proceso, razón por la que coagulación se considera la unidad que mayor gasto puede generar en el tratamiento de agua.

Demostración

Escenario 4 (a)





Una vez descritos los escenarios predeterminados para un comportamiento ideal, en degradado y en falla, se toman aleatoriamente cuatro de los conjuntos de datos y se corre el programa para observar el comportamiento durante esos cuatro días. El tanque se satura al día 3 de simulación, con promedio de turbidez media. Se observa que en las mediciones reales, con turbidez de 15 NTU, se adicionó coagulante al proceso; esto ocurre debido a que los operadores toman ciertas decisiones según su experticia, en este caso fuera del rango de comportamiento definido para el modelo.

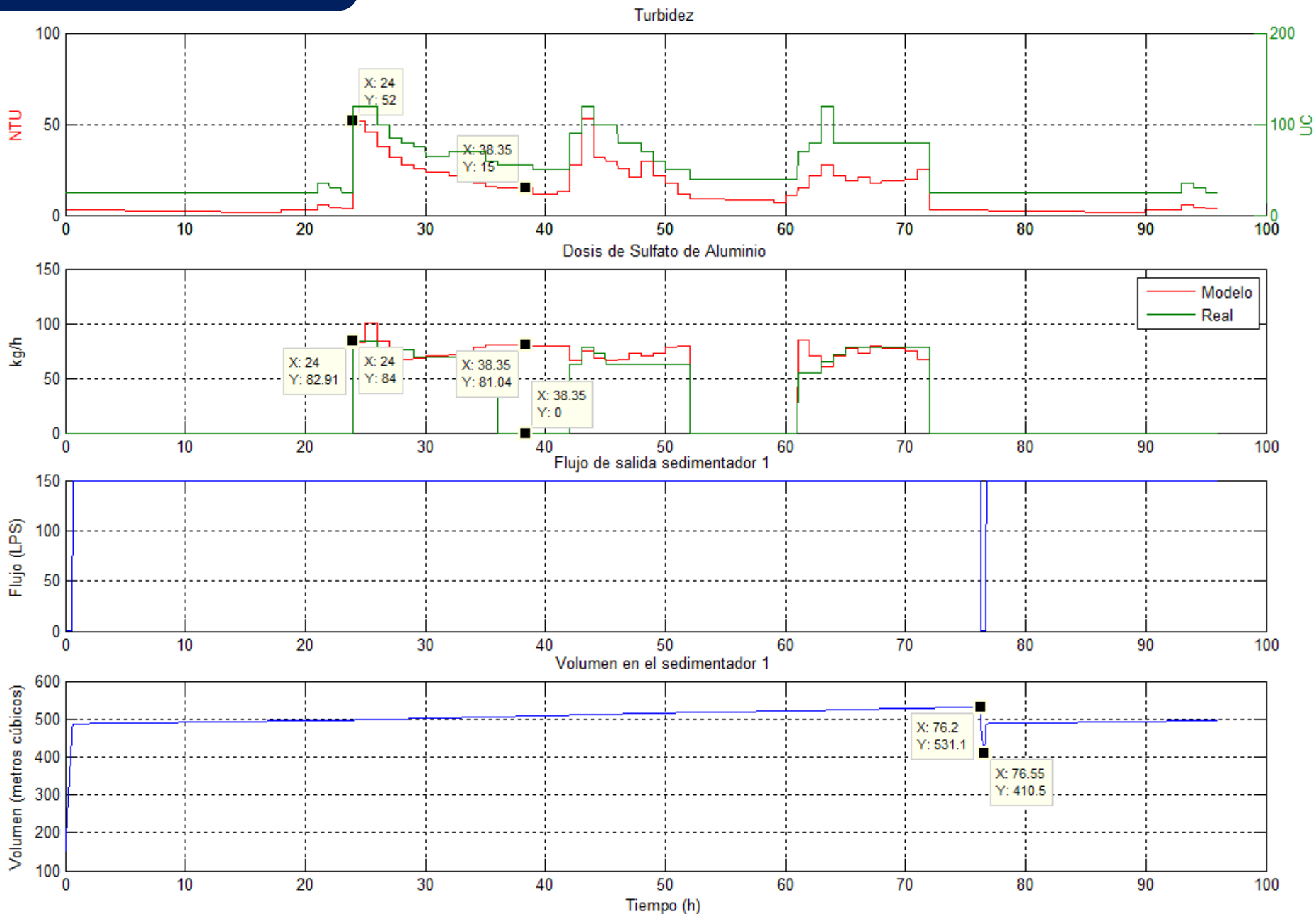


Tabla de Contenido

- Motivación
- Planteamiento del Problema
- Objetivos
- Gemelo Digital en la Industria 4.0
- Enfoque UHP
- Hidrológicas
- Potabilización
- Caso de uso
- Demostración
- Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones y Recomendaciones

El uso del enfoque de Unidad Holónica de Producción, da un marco de referencia para determinar el modelo de comportamiento de la unidad basado en una extensión del modelo de Lygeros, que corresponde con el Gemelo Digital de la Unidad.

Se aplicó el marco de referencia para obtener el modelo de comportamiento para las unidades de coagulación y sedimentación en el proceso de potabilización, mostrando su desempeño en una emulación realizada sobre Epanet-Matlab. Con esto se dan por cumplidos los objetivos propuestos.

Es fundamental en la digitalización de la empresa el contar con modelos de comportamiento, ya que ese es el soporte para realizar la gestión (planificación/programación/ejecución/seguimiento del proceso a partir de la coordinación y supervisión de unidades, basado en el modelo de producto, modelo de proceso y modelos de recurso, según el enfoque de UHP).

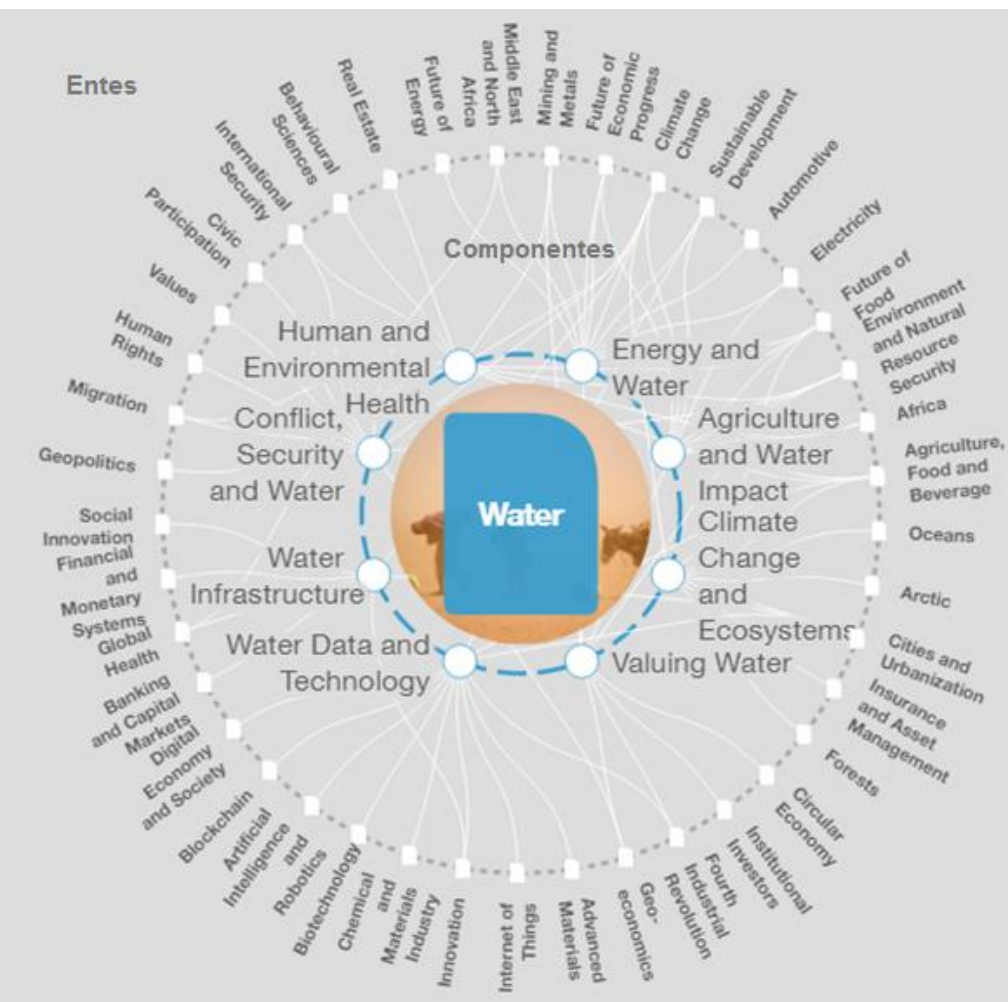
La implementación de un gemelo digital permite la planificación de modificaciones en la unidad, el seguimiento del comportamiento y gestión en la misma, y el uso de los datos obtenidos para programación y evaluación.

Conclusiones y Recomendaciones

Se debe destacar la relevancia de los modelos al momento de proponer un gemelo digital; es en ellos donde se almacena todo el conocimiento del proceso, lo que da pie a que se tomen decisiones basadas en condiciones, en pro de la eficiencia de la producción. La obtención de los modelos de cada unidad es clave para generar un gemelo digital del proceso de potabilización, así como también las mediciones en línea.

La implementación de un gemelo digital permite la planificación de modificaciones en la unidad, el seguimiento del comportamiento y gestión en la misma, y el uso de los datos obtenidos para programación y evaluación.

Se recomienda realizar la medición de la temperatura del flujo, debido a que es un parámetro influyente al momento de añadir químicos a un flujo. Conociendo el valor es posible que el modelo de dosificación de coagulante se ajuste mejor al proceso.



Gracias

