SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

QUE PRESENTA:

JEREMÍAS GÓMEZ SÁNCHEZ

CON EL TEMA:

"PREDICCIÓN DE LA DOSIS DE COAGULANTE DE UNA PLANTA POTABILIZADORA"

MEDIANTE:

OPCIÓN IX

(TITULACIÓN INTEGRAL)

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS **JUNIO 2012**

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

DIRECCIÓN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas., 13 /FEBRERO/2012

OFICIO DEP-CT-023 -2012

C. JEREMÍAS GÓMEZ SÁNCHEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE **INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
P R E S E N T E.

Habiendo recibido la liberación del informe técnico del proyecto denominado:

"PREDICCIÓN DE LA DOSIS DE COAGULANTE DE UNA PLANTA POTABILIZADORA"

Y en cumplimiento con los requisitos normativos para obtener el Título Profesional, comunico a usted que se **AUTORIZA** la impresión del Trabajo Profesional.

Sin otro particular quedo de usted reiterándole mis más finas atenciones.

A T E N T A M E N T E
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"

ING. ROBERTO CIFUENTES VILLAFUERTE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.
C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
C.c.p.- Expediente
I'RCV/L'ORC

Secretaría de Educ. Pública
Instituto Tecnológico
de Tuxtla Gutiérrez
Div. de Est. Profesionales

ÍNDICE.

Contenido. **Pág.**

1Introducción. i

2 Justificaciones. 1

3 Objetivos. 3

3.1Objetivos generales 3

3.2Objetivos específicos 3

4 Caracterización del área en que se participó 4

5 Problemas a resolver. 6

6 Alcances y limitaciones. 7

6.1 Alcances. 7

6.2 Limitaciones 7

7 Fundamento teórico 8

7.1 Estado del arte 8

7.1.1 Métodos de dosificación en el tratamiento del agua 8

7.1.2 Modelado de la dosificación de coagulante en una planta de tratamiento de agua. 9

7.2 Marco teórico conceptual 10

7.2.1 Clarificación. 10

7.2.2 Coagulación. 10

7.2.3 Modelos teóricos de la coagulación 11

7.2.3.1 Modelos físicos de la coagulación 11

7.2.3.2 Modelo químico de la coagulación 14

7.2.4 Dosificación de coagulante 16

7.2.5 Floculación 16

7.2.5.1 Modelos teóricos de la floculación 17

7.2.5.2 Floculación pericinética 17

7.2.6 La sedimentación 18

7.2.7 La filtración 18

7.2.8 La cloración 19

7.2.9 Redes neuronales artificiales 20

7.2.10 Estructura de una red neuronal artificial 22

7.2.11 Arquitecturas neuronales 24

7.2.11.1 Según el número de capas 24

7.2.11.1.1 Redes neuronales monocapas 24

7.2.11.1.2 Redes neuronales multicapa 24

7.2.11.2 Según el tipo de conexiones 25

7.2.11.2.1 Redes neuronales no recurrentes 25

7.2.11.2.2 Redes neuronales recurrentes 25

7.2.11.3 Según el grado de conexión 25

7.2.11.3.1 Redes neuronales totalmente Conectadas 25

7.2.11.3.2 Redes parcialmente conectadas 25

7.2.12 ¿Qué es Matlab? 26

7.2.13 Características de Matlab 27

8 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas 28

8.1 Descripción del prototipo 28

8.2 Modelo de proceso de desarrollo 28

8.3 Gestión de riesgos 31

8.3.1 Clientes 31

8.4 Análisis de riesgos 31

8.4.1 Descripción de los riesgos posibles 31

8.5 Caso de uso 34

9 Resultados, planos, gráficas, prototipos y programas 35

9.1 Diagrama a bloques 35

9.2 Diagrama a bloque general 37

9.3 Diagrama a bloque específico 38

9.4 Metodología 39

9.5 Diagrama gráfico de procesos 40

9.6 Descripción de proceso del desarrollo 40
9.6.1 Modelo matemático 40
9.6.2 Descripciones de variables de entrada 41
9.6.2.1 Turbidez 41
9.6.2.2 pH 41
9.6.2.3 Temperatura del agua 42
9.6.3 Creación de la red 43
9.6.4 Entrenamientos en Matlab 44
9.7 Pantallas 44
9.7.1 Pantalla de inicio 44
9.7.2 Entrenamiento de la red neuronal 45
9.7.3 Predicción calculada 45
9.7.4 Gráfica de pH 46
9.7.5 Gráfica de turbidez 46
9.7.6 Gráfica de temperatura 47
9.8 Archivos .ms 47
9.8.1 Página de inicio menú 47
9.8.2 Dosificación 48
9.8.3 Entrenamiento de la red 49
10 Conclusiones y recomendaciones 50

10.1 Conclusiones 50

10.2 Recomendaciones 51

11 Referencias bibliográficas 52

ANEXOS

1.- INTRODUCCIÓN.

Hoy en día la industria del agua potable tiene una creciente presión para producir un agua tratada de mayor calidad a costos más reducidos.

Durante el proceso de potabilización es muy importante tomar en cuenta las variables características del agua a la entrada de la planta, como la temperatura, el pH, la turbidez, la conductividad, entre otras. Estas variables sufren cambios durante el proceso, de tal forma que las mediciones a la salida de la planta deberán cubrir con los valores estrictos de calidad del agua.

Una de las etapas más importantes es la de clarificación del agua, aquí se ubica la unidad de Coagulación-Floculación, que permite eliminar las partículas suspendidas y fuentes de contaminación.

El control en mayor parte de las instalaciones es manual y requiere de análisis de laboratorio los cuales son largos y costosos, por ello surge la necesidad de desarrollar un software para evitar realizarlo de manera manual y así tener un mejor control del agua tratada.

La base de la implementación del software son las mediciones de las variables características del agua a la entrada de la planta potabilizadora. Entonces, dicho software visualiza los valores de las variables características del agua a la entrada, en la etapa intermedia y a la salida del proceso de potabilización, así como también proporciona información en relación a la etapa de clarificación (dosificación de reactivos).

2.- JUSTIFICACION.

El Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA) de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a un costado del Panteón Municipal No. 2, tiene la presión de producir un agua tratada de mayor calidad a costos más reducidos. Esto produce una gran atención en la comunidad tecnológica y científica, por su impacto directo en la salud humana y por el control automatizado de las principales variables a tratar.

El gran avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido medir cada vez con mayor precisión el agua y avanzar en la explotación de esta información.

En todo este proceso de automatización, las computadoras y los diferentes lenguajes de programación y desarrollo de interfaces gráficas GUI´s, juegan un papel de suma importancia. Ellos han permitido el desarrollo de Sistemas inteligentes que resuelven los más diversos problemas, a través de los llamados sistemas de adquisición de datos.

Para poder registrar las diferentes variables, almacenarlas y transmitirlas en tiempo real al centro de procesamiento para su posterior aplicación del Sistema gráfico en las computadoras con la cual es posible hacer una interpretación de su estado actual por medio de gráficas, se realiza un proceso de instalación de sensores a la entrada, en la etapa intermedia y en la salida de la planta potabilizadora.

La información obtenida por los sensores, mas el análisis mediante un Sistema de diagnostico inteligente, permite conocer el modelo de funcionamiento de la planta, el Sistema también activará una alarma de alerta sonora si se llega a producir un mal estado dentro del rango admitido para el tratamiento del agua potable.

Durante el proceso de potabilización es indispensable tomar en cuenta las variables características del agua en todas las etapas de la planta, estas variables son la temperatura, la turbidez, la dosificación y el pH, estas variables sufren cambios durante el proceso de potabilización, de tal forma que las mediciones a la salida de la planta deberán cubrir con el rango de valores estrictos de la calidad del agua potable.

La supervisión continua de los procesos industriales es necesaria para asegurar su eficacia en cuanto a las condiciones generales de operación. Y si se trata de procesos que están relacionados con el tratamiento del agua, deberán ser considerados con mayor atención.

El software permitirá la predicción de la dosificación en tiempo real, el operador contará con un apoyo para realizar la labor de la dosificación de reactivo automáticamente, en lugar del proceso manual de la técnica de “prueba de jarras”.

Con la implementación del software los beneficios que traerá a la industria del agua serán efectivos, ya que se evitarán gastos excedentes en la utilización de dicho reactivo, con lo cual podrá existir una disminución de gastos y seguir conservando la calidad del agua.

3.- OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Crear un software que proporcione la dosis del reactivo a inyectar en la planta potabilizadora.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Aplicar una técnica de predicción de datos (empleando redes neuronales).
- La implementación del software en la planta, una vez que se haya desarrollado y probado.
- Predecir la dosis de reactivos en la etapa de clarificación.
- El software calculará la dosificación de coagulante en tiempo real a partir de los valores de las variables características a la entrada de la planta potabilizadora.

4.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ.

4.1 DATOS GENERALES.

Nombre de la dependencia:

Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA).

Director: Lic. Jorge Flores Rincón.

Dirección: Libramiento Sur Oriente s/n, Col. La Misión, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

C.P. 29080.

Teléfono: 01 961 6187170 ext. 7173

4.2 MISIÓN.

Ofrecer a los usuarios un servicio de calidad en el suministro de agua potable y alcantarillado sanitario, concientizando a la población del uso y la preservación del agua como elemento indispensable en la vida.

4.3 VISIÓN.

Consolidarse como uno de los mejores organismos a nivel nacional, con base en la ética de trabajo en equipo y tecnología de vanguardia, capaz de satisfacer las necesidades actuales y futuras de la comunidad.

4.4 ORGANIGRAMA.

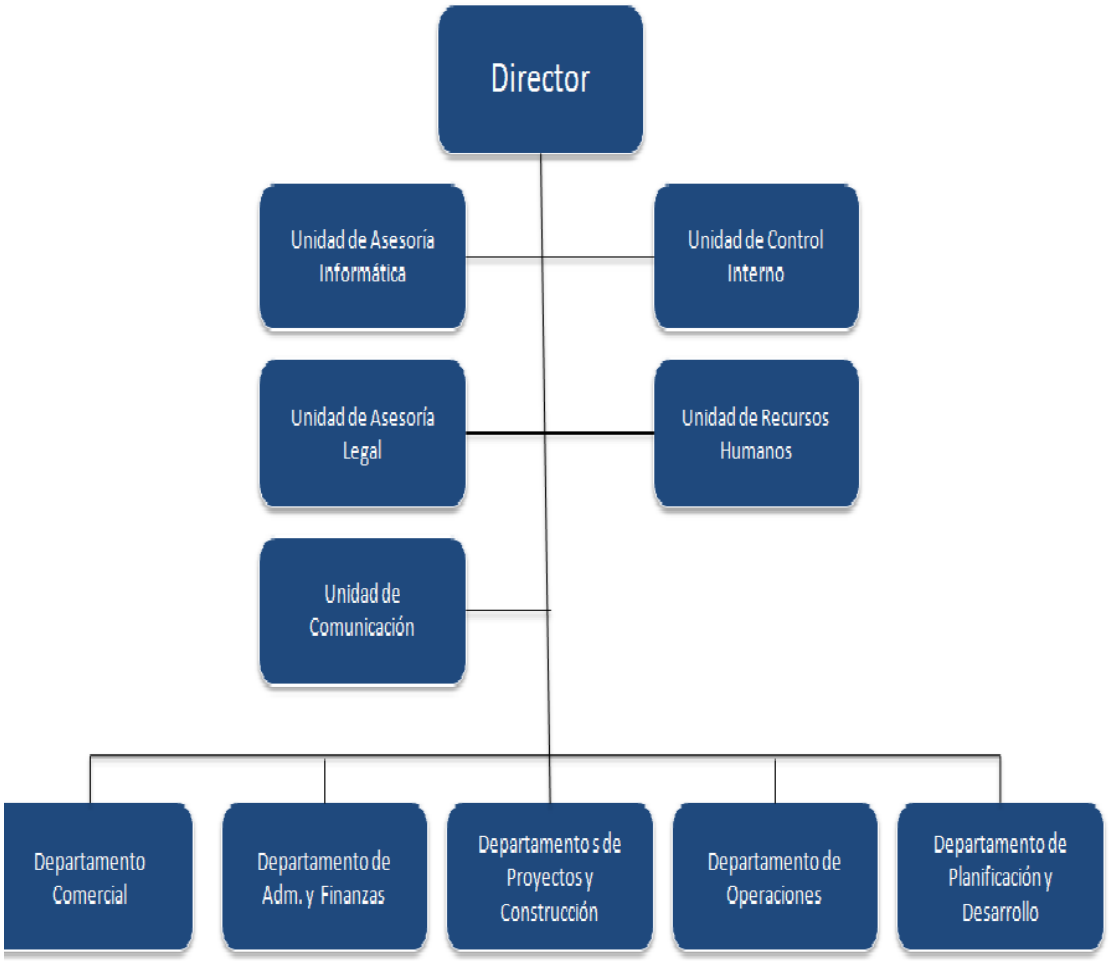


Fig. 1 Organigrama de SMAPA.

5.- PROBLEMAS A RESOLVER.

En la actualidad no existe un software dedicado especialmente al cálculo de la dosificación de coagulante en tiempo real a partir de los valores de las variables características a la entrada de la planta potabilizadora. Además, la dosificación de reactivos (unidad de clarificación) se realiza mediante un análisis químico manual llamado “prueba de jarras”.

Esta técnica de análisis requiere la extracción de una muestra de agua, la cual se analiza durante un tiempo significativo**,** lo cual resulta difícil de integrarlo a un sistema de monitoreo y supervisión en tiempo real.

Además, dicha dosificación es la variable principal a controlar en la etapa de coagulación ya que una sobredosis del químico provoca costos suplementarios en el tratamiento, mientras que la subdosificación conduce al incumplimiento de las especificaciones estrictas de la calidad del agua, provocando así, pérdidas a la industria y peor aún, contaminando al ambiente.

6.- ALCANCES Y LIMITACIONES.

6.1 ALCANCES.

El Sistema cuenta con la opción de la predicción del coagulante, además tiene una interfaz para el usuario, el cual podrá seleccionar si desea imprimir un reporte o una gráfica de pH, de turbidez y de temperatura.

6.2 LIMITACIONES.

No se cuentan con los sensores de temperatura, del pH y de la turbidez ya que son muy costos y no se cuenta con el capital para comprarlos, lo cual es un impedimento para la adquisición de datos del Sistema, por estos motivos de instalación de los sensores, únicamente el Sistema simulará la predicción de dosis del coagulante con los datos reales de la planta potabilizadora.

7.- FUNDAMENTO TEÓRICO.

7.1 ESTADO DEL ARTE.

7.1.1 MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA.

El artículo fue hecho por los Investigadores Esko Juuso, Katja Viirret y Marjatta Piironen, integrantes del Centro de Investigación de Oulu, Francia. Tiene similitud con nuestro proyecto ya que utilizan métodos inteligentes para la purificación del agua.

El tratamiento de agua incluye muchos fenómenos complejos, como la coagulación y floculación. Estas reacciones son duras o incluso imposibles para controlar por los métodos convencionales. Ésa es la razón principal por qué la pertinencia de los métodos inteligentes al mando de químicos de purificación del agua.

El método de las ecuaciones lingüístico que se escogió en nuestro caso es un nuevo método inteligente en esta línea de industria del proceso. Para esta investigación, se grabaron los datos de un proceso de purificación de agua real. Se derivaron dos tipos de modelos para el proceso usando esta información, un estático y un dinámico.

Cuando la calidad o cantidad de agua entrante cambian crucialmente, un nuevo punto que opera puede definirse por el modelo estático. El modelo dinámico por su parte predice una proporción y dosifica razonablemente los químicos en el punto activo actual.

7.1.2 MODELADO DE LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

El artículo fue hecho por los Investigadores N. Valentin, T. Denoeux, F. Fotoohi, Investigadores de la Universidad Tecnológica de Compiegne en Francia. Este artículo se refiere a la aplicación de técnicas de dosificación de coagulante por medio de una red neuronal artificial.

La red neural artificial se aplica a las técnicas de la dosificación de coagulante en una planta de tratamiento de agua. La dosificación de coagulante estará proporcionada por la correlación no-lineal de los parámetros del agua crudos como son la turbiedad, la conductibilidad, el pH, la temperatura, etc.

Un requisito importante de la aplicación, es la robustez del Sistema contra medidas del sensor que sean erróneas o las características que surjan de aguas raras. El sistema híbrido incluye la predicción de dosis del coagulante que usa el perceptrons multilayer.

Un rasgo importante del sistema es su habilidad de tener en cuenta varias fuentes de incertidumbre, como los datos de la entrada atípicos, errores de la medida e información limitada satisfecha del juego de entrenamiento. Se presentan resultados experimentales con los datos reales.

7.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

7.2.1 CLARIFICACIÓN.

La etapa de clarificación consiste en la eliminación de partículas finas. Se subdivide en coagulación, floculación y sedimentación y/o filtración.

El agua consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas. Desde el punto de vista físico, se puede hablar que los sólidos totales son impurezas del agua y se pueden clasificar como partículas no filtrables o en suspensión, filtrables o disueltas y una tercera posibilidad es el caso intermedio que corresponde a los coloides. En general los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y se suelen estudiar bajo un enfoque fisicoquímico desde el punto de vista de sus propiedades. Un material coloidal puede tardar 755 días en sedimentar por tanto es importante cambiar esta condición.

7.2.2 COAGULACIÓN.

Es el proceso de desestabilización química de partículas coloidales realizadas por adicción de un coagulante al agua el cual neutraliza las cargas responsables de la estabilidad de las partículas cargadas que generan fuerzas de repulsión superficial las cuales están impidiendo la sedimentación por gravedad en tiempos cortos (de 0.5 a 3 horas) de acuerdo al tamaño y naturaleza del coloide, esta partícula puede demorar 100 años para sedimentarse naturalmente por la acción de la gravedad.

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

7.2.3 MODELOS TEÓRICOS DE LA COAGULACIÓN.

Existen dos modelos de la coagulación. El modelo físico o de la doble capa, basado en fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión. El otro modelo es químico, llamado “puente químico”, que relaciona una dependencia entre el coagulante y la superficie de los coloides.

7.2.3.1 MODELOS FÍSICOS DE LA COAGULACIÓN.

a) Modelo de Helmholtz: Su fundamento se basa en dos superficies cargadas eléctricamente y separadas por una distancia ‘d’ constante. Esta situación se puede modelar como un condensador simple con potencial en la superficie de:

$$V = \frac{4\pi\sigma\delta}{D}$$

$$\sigma = {}^{q}/_{superficie}$$

$q = |q1| - |q2|$

$q1: carga\ particular$

$q2: carga\ que\ rodea\ a\ la\ particular$

$\delta: distancia\ hasta\ donde\ decae\ el\ potencial.$

D: constancia dieléctrica de la solución.

b) Modelo de Gouy Chapman: Introduce el concepto de capa difusa. Para esto usa la ecuación de Poisson, lo que permite calcular las posiciones de equilibrio de los iones de la doble capa.

$$V = \frac{4\pi\sigma\delta}{D}$$

$$\sigma = {}^{q}/_{superficie}$$

$q1 = |q3|$

$q1: carga\ particula\ coloidal$

$q3: carga\ de\ la\ capa\ difusa$

$\delta: distancia\ hasta\ donde\ decae\ el\ potencial.$

D: constancia dieléctrica de la solución.

De acuerdo con la teoría de Gouy Chapman la densidad de carga superficial total en un coloide sp (Cm-2) depende de:

$$\sigma_P = \sigma_0 + \sigma_H + \sigma_{IS} + \sigma_{OS}$$

Donde:

s0: carga estructural permanente, usualmente para un mineral, causada por sustituciones isométricas en minerales.

s: carga neta de protones, y entonces, la carga de protones o hidroxilos ligados. (Protones en la capa difusa no son incluidos en sH.

sis: carga de la esfera interior del complejo.

sos: carga de la esfera exterior del complejo.

Esta carga superficial total del coloide se relaciona con el potencial en la superficie (volt) de modo que:

$$\sigma_p = (8RT\varepsilon\varepsilon_0 c)^{1/2} \sinh \frac{Z\Psi F}{2RT}$$

$$R = 8.314\ \frac{J}{Kmol}$$

$T: Temperatura\ (K)$

$\varepsilon: contante\ dielectrica\ del\ agua: 78.5\ a\ 25^0 C$

$\varepsilon_0: permitividad\ en\ vacio: 8.885 * 10^{-12} C^2 V^{-1} m^{-1}$

$c: concentracion\ molar\ del\ electrolito(M)$

$Z: carga\ ionica$

A un potencial bajo, la ecuación anterior se puede linealizar de modo que:

$\sigma_p = \varepsilon * \varepsilon_0 * K * \Psi$

Donde:

$K = \left(\frac{2F^2 I * 10^3}{\varepsilon * \varepsilon_0 * RT}\right)^{1/2} [m^{-1}]$

$I: fueraza\ ionica[M]$

$A25^0C$:

$\sigma_p = 0.1174 * c^{1/2} * \sinh(\mathrm{Z} * \Psi * 19.46)[Cm^{-2}]$

$\sigma_p = 2.3 * I^{1/2} * \Psi[Cm^{-2}]$

c) Modelo de Stern: Señala que existe la posibilidad de coexistencia de ambas capas. Por tanto, es un modelo de doble capa eléctrica. Hay una capa fija de contraiones que está adherida a la superficie coloidal (en ella el potencial cae rápido). Parte de la capa difusa de contraiones está adsorbida a la superficie de la partícula coloidal y se mueve con ella.

La capa fija se compara al modelo de un condensador eléctrico. La superficie del coloide más el solvente adherido forman una placa con carga /q1/ + /q2/ y la capa difusa no adherida, la otra placa con carga q3.

El potencial de la capa fija es:

$$V = \frac{4\pi\sigma\delta}{D}$$

Con:

$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$

$\sigma_1 = {}^{q1}/_{superficie}$ $\sigma_2 = {}^{q2}/_{superficie}$

$q1 = carga\ particular\ coloidal$

$q2: carga\ a\ capa\ fija\ mas\ carga\ solvente\ ad\square erido$

$q3: carga\ de\ la\ capa\ difusa$

$\delta: distancia\ entre\ los\ baricentros\ de\ las\ cagas\ q1 + q2\ y\ q3.$

D: constancia dieléctrica de la solución.

7.2.3.2 MODELO QUÍMICO DE LA COAGULACIÓN.

La carga de las partículas coloidales se produce por la ionización de grupos hidróxilo, carbóxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes lo que genera la posterior precipitación. Así la desestabilización de los sistemas coloidales se ve mejor bajo el punto de vista químico. Se presenta a continuación la teoría del puente químico.

Esta teoría supone una molécula polimérica unida a la superficie del coloide en uno o más sitios mientras el resto de los sitios de adsorción están vacantes, los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño y consigo, precipitación.

En donde:

P0: concentración del polímero añadido.

P: concentración del polímero residual después de la adsorción.

P0 – P: concentración adsorbida.

(P0 – P)N: número de moléculas concentradas en la interface (N: N° avogadro)

b: número de segmentos adsorbidos por la molécula.

b(P0 – P)N: número de sitios cubiertos.

La fracción de sitios cubiertos en una superficie es:

$$\theta = \frac{b(P_0 - P)N}{sS_0}$$

Con:

s: número de sitios de adsorción por unidad de área.
S0: área de la superficie de los coloides.

La posibilidad de que los coloides se unan y floculen es proporcional a *q* y a (1-*q*). Por lo tanto si se considera la tasa de formación de flocs o la disminución del número de partículas sin flocular se tiene:

$$-\frac{dn_0}{dt} = K_1 n_0^2 \theta (1 - \theta)$$

Con

$n_0 = N^0\ de\ particulas\ sin\ flocular$

$n_0\theta: superficie\ total\ cubierta\ con\ polimero$

$n_0(1 - \theta) = superficie\ total\ no\ cubierta\ con\ polimero$

$K_1: constancia\ de\ eficiencia\ de\ formacion\ de\ flocs\ (0 \leq K_1 \leq 1)$

La tasa es máxima cuando $\boldsymbol{\theta}$ es igual a 0,5. En exceso de coagulante, los sitios de adsorción quedan cubiertos lo que estabiliza las partículas. Esto sucede cuando $\boldsymbol{\theta}$ vale uno. Este modelo relaciona bastante bien la cantidad de superficie de coloide versus la cantidad de coagulante requerida para abatir estos contaminantes. Tanto el modelo físico como el químico no son capaces de brindar una explicación completa pero sí ayudan a la comprensión del fenómeno en estudio.

7.2.4 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE.

Los coagulantes metálicos (alumbre: Al2(SO4)314H2O y sales de hierro), han sido los más empleados en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH típico para la clarificación que va entre 6 y 7. Como ya se vio esta reacción produce aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico.

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del rango adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio. Cuanto menor sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del floculó a cambios en el pH. La figura que se presenta a continuación explica este comportamiento.

Una observación destacable radica en ver que el valor óptimo de pH permanece casi constante, pero el intervalo de pH es menos limitante a medida que aumenta la dosificación de coagulante.

7.2.5 FLOCULACIÓN.

Es el proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la agregación (cohesión) entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad.

7.2.5.1 MODELOS TEÓRICOS DE LA FLOCULACIÓN.

Para la floculación existen también dos modelos. El primero es llamado ortocinético, el cual es promovido por agitación externa principalmente. Influyen partículas de tamaño superior al micrón y tiene relación con los gradientes de velocidad del líquido.

El segundo modelo se llama pericinético y se diferencía del primero en que su fuente de agitación es interna. Principalmente importarán el movimiento browniano y la sedimentación. Su efecto es principalmente sobre partículas de tamaño inferior a 1 micrón.

7.2.5.1.1 FLOCULACIÓN ORTOCINÉTICA.

Se realiza un análisis por el método de Von Smoluchowsky, el cual supone tan solo dos grupos de partículas esféricas en suspensión en el líquido, con diámetros d1 y d2. Supone además que el líquido presenta un gradiente de velocidad no nulo entre uno y otro tipo de partículas.

7.2.5.1.2 FLOCULACIÓN PERICINÉTICA.

La floculación pericinética se realiza mediante la unión de partículas pequeñas, motivada por efecto térmico lo que se traduce en movimiento browniano, que provoca la difusión uniforme de partículas en la solución.

Si se suponen partículas esféricas que chocan entre sí según la ley de Fick, se tiene que el número de choques por unidad de volumen y tiempo a los que está sometida una partícula en un sistema de partículas.

7.2.6 LA SEDIMENTACIÓN.

Esta operación consiste en separar de una suspensión un fluido claro, que sobrenade la superficie, y un lodo con una concentración elevada de materias sólidas que se depositan por efecto gravitacional y por tener peso específico mayor que el fluido. La sedimentación se realiza en unidades o reactores en los cuales teóricamente, la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante.

Las partículas aglomerables se obstaculizan mediante la sedimentación antes de unirse, una vez lograda la unión ganan peso y se precipitan a velocidad creciente en el tiempo.

El principal parámetro que influye en la eficiencia reemocional de una unidad de sedimentación es la carga superficial, la cual constituye la velocidad crítica de sedimentación.

7.2.7 LA FILTRACIÓN.

Su objetivo es la remoción de sólidos coloidales y suspendidos contenidos en el agua mediante su flujo a través de lechos porosos de partículas sólidas para realizar a adherencia y posterior evacuación de las partículas a remover. Un filtro se colmata a medida que su lecho se carga de materias retenidas resultando un efluente no aceptable por lo cual, se debe lavar con agua en contracorriente de filtración.

Si el lavado es deficiente se pueden formar bolas de lodo y grietas. El funcionamiento de un filtro debe estudiarse desde los puntos de vista de filtración y lavado. Los filtros de la planta están compuestos por antracita en un 90%

aproximadamente y 10% de arena que supuestamente está en la parte del fondo rodeando las toberas, por las cuales pasa el agua al falso fondo y de allí a los sifones en donde se realiza la función del control de la carrera de filtración, de allí el agua pasa al tanque de lavado en donde se le agrega el cloro.

7.2.8 LA CLORACIÓN.

El cloro es un elemento halógeno, no metálico, no se encuentra libre en la naturaleza, es un componente importante de minerales hálito (sal de rocas o cloruro sódico) silvita (cloruro potásico) y carnalita, y un cloruro en el agua de mar.

En estado líquido es de color amarillo o ámbar claro, olor irritante, muy baja conductividad eléctrica, soluble en cloruros y alcoholes. Es una agente oxidante extremadamente fuerte, ligeramente soluble en agua fría.

Cuando se adiciona cloro al agua se forma una mezcla de ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico. Cl2+H2O=HOCl+HCl (H++C−), esta reacción tiene lugar en unos cuantos segundos en condiciones de presión y temperatura ambientes.

El cloro se aplica al agua filtrada para eliminarle los microorganismos patógenos aún presentes en ella. Entre ellos el bacilo de Cook causante de la tuberculosis. El cloro que existe en forma de ácido hipocloroso y de ion hipoclorito se le denomina cloro libre, la suma del cloro libre y el combinado es el cloro total.

7.2.9 REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

Una red neuronal, según Freman y Skapura, es un sistema de procesadores paralelos conectados entre sí en forma de grafo dirigido. Esquemáticamente cada elemento de procesamiento (neuronas) de la red se representa como un nodo. Estas conexiones establecen una estructura jerárquica que tratando de emular la fisiología del cerebro busca nuevos modelos de procesamiento para solucionar problemas concretos del mundo real. Lo importante en el desarrollo de la técnica de las RNA es su útil comportamiento al aprender, reconocer y aplicar relaciones entre objetos y tramas de objetos propios del mundo real. En este sentido, se utilizan las RNA como una herramienta que podrá utilizarse para resolver problemas difíciles.

La posibilidad de resolver problemas difíciles es dada gracias a los principios de las redes neuronales, los cinco más importantes son citados por Hilera y Martínez. Estos son enunciados a continuación:

Aprendizaje adaptativo: Esta es quizás la característica más importante de las redes neuronales, pueden comportarse en función de un entrenamiento con una serie de ejemplos ilustrativos. De esta forma, no es necesario elaborar un modelo a priori, ni establecer funciones probabilísticas. Una red neuronal artificial es adaptativa porque puede modificarse constantemente con el fin de adaptarse a nuevas condiciones de trabajo.

Autoorganización: Mientras que el aprendizaje es un proceso donde se modifica la información interna de la red neuronal artificial, la autoorganización consiste en la modificación de la red completa con el fin de llevar a cabo un objetivo específico. Autoorganización significa generalización, de esta forma una red puede responder a datos o situaciones que no ha experimentado antes, pero que

puede inferir sobre la base de su entrenamiento. Esta característica es muy útil sobre todo cuando la información de entrada es poco clara o se encuentra incompleta.

Tolerancia a fallos: En la computación tradicional la pérdida de un fragmento pequeño de información puede acarrear comúnmente la inutilización del sistema. Las redes neuronales artificiales poseen una alta capacidad de tolerancia a fallos. Se entiende por ello que las redes pueden reconocer patrones de información con ruido, distorsión o incompletos, pero que, además, pueden seguir trabajando aunque se destruya parte de la red (con cierta degradación). La explicación de este fenómeno se encuentra en que mientras la computación tradicional almacena la información en espacios únicos, localizados y direccionables, las redes neuronales lo hacen de forma distribuida y con un alto grado de redundancia.

Operación en tiempo real: Las redes neuronales artificiales, de todos los métodos existentes, son las más indicadas para el reconocimiento de patrones en tiempo real, debido a que trabajan en paralelo actualizando todas sus instancias simultáneamente. Es importante destacar que esta característica solo se aprecia cuando se implementan redes con hardware especialmente diseñados para el procesamiento paralelo.

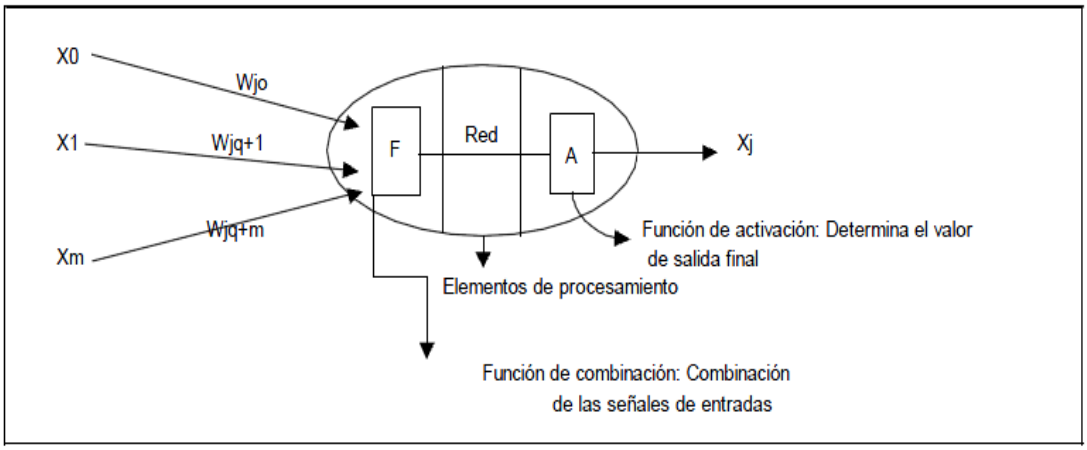
Fácil inserción en la tecnología existente: Es relativamente sencillo obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilita la integración modular en los sistemas existentes.

Las neuronas tienen una estructura ramificada de entrada (las dendritas) y una estructura ramificada de salida (los axones). Los axones de una célula se conectan con las dendritas de otra, por vía de la sinapsis la neurona se activa y

excita una señal electroquímica a lo largo del axón. Esta señal transfiere la sinapsis a otras neuronas, las que a su vez pueden excitase. Las neuronas se excitan sólo si la señal total recibida en el cuerpo de las células, por conducto de las dendritas, es superior a cierto nivel (umbral de excitación).

7.2.10 ESTRUCTURA DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL.

Las redes neuronales artificiales están formadas por una gran cantidad de neuronas, estas no suelen denominarse neuronas artificiales sino nodos o unidades de salida. Un nodo o neurona cuenta con una cantidad variable de entradas que provienen del exterior (X1, X2,....., Xm). A su vez dispone de una sola salida (Xj) que transmitirá la información al exterior o hacia otras neuronas. Cada Xj o señal de salida tiene asociada una magnitud llamada peso este se calculará en función de las entradas, por lo cual cada una de ellas es afectada por un determinado peso (Wjo...Wjq+m). Los pesos corresponden a la intensidad de los enlaces sinápticos entre neuronas y varían libremente en función del tiempo y en cada una de las neuronas que forman parte de la red, Un ejemplo de una neurona se muestra en la figura 2.



Kornilov, A.R. Intelligent technologies new opportunities for modern industry. Information Technology. 1997; 3:1-14.

Fig. 2 Esquema de una neurona.

El proceso de aprendizaje consiste en hallar los pesos que codifican los conocimientos. Una regla de aprendizaje hace variar el valor de los pesos de una red hasta que estos adoptan un valor constante, cuando esto ocurre se dice que la red ya "ha aprendido". Al conectar varias neuronas de un determinado modo, se consigue una red. Existen variaciones de topologías, que se clasifican según tres criterios:

1) Número de niveles o capas.
2) Número de neuronas por nivel.
3) Formas de conexión.

El diseño de una u otra tipología depende del problema a solucionar por ejemplo para elaborar un programa de filtro digital en una computadora, se debe emplear un algoritmo en que todas las capas estén uniformemente interconectadas, o sea que todos los nodos de una capa estén conectados con los nodos de otra capa. La arquitectura clásica de una red neuronal cuenta con variables de entrada, dos capas de neuronas intermedias y una capa de salida. Todas ellas conectadas entre sí.

Las neuronas se organizan en una tipología de capas diferentes. Solo incluye una capa neuronal oculta, este algoritmo es muy elemental y es muy utilizado a nivel académico para la construcción y prueba de diferentes tipos de modelos de red.

Existe una gran variedad de modelos de redes neuronales, éstos dependen del objetivo para el cual fueron diseñados y del problema práctico que solucionan. Hoy en día, su éxito depende en gran medida, del valor comercial que logren alcanzar sus aplicaciones.

En dependencia de ello unos serán más populares que otros, entre los más conocidos están el Adaline/Madaline (utilizado en el diseño y realización de filtros, para llevar a cabo la eliminación del ruido en señales portadoras de información, modems, etc.), el b*ack propagation* (utilizado en el proyecto de la máquina de escribir neural fonética) y el modelo de los mapas auto-organizados (*Self-Organizing Map*, SOM).

7.2.11 ARQUITECTURAS NEURONALES.

Las estructuras neuronales o modelos conexionistas se pueden clasificar de diferentes formas según el criterio usado.

7.2.11.1 SEGÚN EL NÚMERO DE CAPAS.

7.2.11.1.1 REDES NEURONALES MONOCAPAS.

Corresponden a la red neuronal más sencilla ya que tiene una capa de neuronas que proyectan las entradas a una capa de neuronas de salida donde se realizan diferentes cálculos. Le dan el nombre de redes neuronales con una sola capa, porque la capa de entrada no realiza ningún cálculo. Una aplicación típica de este tipo de redes es como memorias asociativas.

7.2.11.1.2 REDES NEURONALES MULTICAPA.

En este tipo de redes existe un conjunto de capas intermedias entre la entrada y la salida (capas ocultas). Este tipo de red puede estar total o parcialmente conectada.

7.2.11.2 SEGÚN EL TIPO DE CONEXIONES.

7.2.11.2.1 REDES NEURONALES NO RECURRENTES.

En esta red la propagación de las señales se produce en un sentido solamente, no existiendo la posibilidad de realimentaciones. Lógicamente estas estructuras no tienen memoria.

7.2.11.2.2 REDES NEURONALES RECURRENTES.

Esta red está caracterizada por la existencia de lazos de realimentación. Estos lazos pueden ser entre neuronas de diferentes capas, neuronas de la misma capa o más sencillamente, entre una misma neurona. Esta estructura recurrente la hace especialmente adecuada para estudiar la dinámica de sistemas no lineales.

7.2.11.3 SEGÚN EL GRADO DE CONEXIÓN.

7.2.11.3.1 REDES NEURONALES TOTALMENTE CONECTADAS.

En este caso todas las neuronas de una capa se encuentran conectadas con las de la capa siguiente (redes no recurrentes) o con las de la anterior (redes recurrentes).

7.2.11.3.2 REDES PARCIALMENTE CONECTADAS.

En este caso no se da la conexión total entre neuronas de diferentes capas. Estas estructuras neuronales se podrían conectar entre sí para dar lugar a estructuras mayores: estamos en el nivel de la mesoestructura. Esta conexión se puede llevar

a cabo de diferentes formas, siendo las más usuales las estructuras en paralelo y jerárquicas.

En la primera estructura se plantea un “consenso” entre las diferentes redes para obtener la salida, mientras que en la estructura jerárquica existen redes subordinadas a otras que actúan como elementos centrales en la salida final de la red.

7.2.12 ¿QUÉ ES MATLAB?

Es un ambiente de cómputo, de alta ejecución numérica y de visualización. MATLAB integra el análisis numérico, cálculo de matrices, procesamiento de señales y graficación, en un ambiente sencillo de utilizar, donde los problemas y sus soluciones son expresados justamente como están escritas; a diferencia de la programación tradicional.

El nombre de MATLAB surge de *matrix laboratory.* Dado que el elemento básico son datos de una matriz, no requiere de dimensionamiento, lo que permite resolver problemas en una fracción de tiempo, del que nos tomaría al escribir un programa en cualquier lenguaje como, Pascal, Fortran, C, etc.

MATLAB, también cuenta con varias familias de soluciones para aplicaciones específicas llamadas *toolboxes*, que son colecciones de funciones utilizadas para resolver alguna clase particular de problema. Las áreas en donde los *toolboxes* están disponibles incluyen el procesamiento de señales, diseño de sistemas de control, la simulación de sistemas dinámicos, la identificación de sistemas, redes neuronales y otros.

7.2.13 CARACTERÍSTICAS DE MATLAB.

- Computación numérica para obtener rápidamente resultados precisos.
- Gráficos para visualizar y analizar los datos.
- Lenguaje y entorno de programación interactivos.
- Herramienta para construir GUI a medida.
- Interacciones con aplicaciones externas como C, C++, java.
- Posibilidad de importar datos desde archivos y dispositivos externos así como usar archivos E/S de bajo nivel.
- Conversión de aplicaciones Matlab a C y C++ mediante Compiler.
- Este amplio conjunto de prestaciones hacen de Matlab la base principal ideal para el desarrollo de soluciones a problemas técnicos.

Las herramientas GUIDE para proyectar y desarrollar GUI permiten desarrollar aplicaciones y gráficos a medida. Los programas de MathWorks construyeron la herramienta sptool, una interfaz visual incluida en signal processing toolbox y que utiliza las herramientas de desarrollo de GUI de Matlab.

Guide es la herramienta de Matlab para la proyección interactiva, el diseño y la edición de interfaces de usuarios, incluidas listas de selección, menús desplegables, botones de pulsación, botones de opción, deslizadores y más.

Guide incluye las siguientes herramientas:

- Layout Editor: añade y ordena objetos en la ventana de ilustraciones.
- Alignment Tool: alinea objetos entre sí.
- Property Inspector: inspecciona y establece los valores de propiedad.

- Object Browser: muestra una lista jerárquica de los objetos de Handle Graphics en la sesión actual de Matlab.
- Menú Editor: crea menús de ventanas y menús de contexto.

8.- PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO A DESARROLLAR.

El software inteligente está realizado a partir de las variables características del agua que proporcionarán los sensores, al obtener dichos datos, el software tiene una base de datos en la que contendrá datos históricos de las variables principales que son: temperatura, pH, turbidez, dosificación.

Esto sirve para que el programa aprenda a predecir la dosis de coagulante a través de la aplicación de redes neuronales, el método a utilizar al aplicar las redes neuronales es no lineal por lo tanto, el sistema experto tendrá la facilidad de dar un resultado aproximado al valor real obtenido manualmente.

8.2 MODELO DE PROCESO DE DESARROLLO.

El modelo que se utilizó para el desarrollo del proyecto es el modelo en espiral.

El modelo de desarrollo en espiral es actualmente uno de los más conocidos y fue propuesto por Boehm. El ciclo de desarrollo se representa como una espiral,

en lugar de una serie de actividades sucesivas con retrospectiva de una actividad a otra.

Cada ciclo de desarrollo se divide en cuatro fases:

1. Definición de objetivos: Se definen los objetivos. Se definen las restricciones del proceso y del producto. Se realiza un diseño detallado del plan administrativo. Se identifican los riesgos y se elaboran estrategias alternativas dependiendo de estos

2. Evaluación y reducción de riesgos: Se realiza un análisis detallado de cada riesgo identificado. Pueden desarrollarse prototipos para disminuir el riesgo de requisitos dudosos. Se llevan a cabo los pasos para reducir los riesgos.

3. Desarrollo y validación: Se escoge el modelo de desarrollo después de la evaluación del riesgo. El modelo que se utilizará (cascada, sistemas formales, evolutivo, etc.) depende del riesgo identificado para esa fase.

4. Planificación: Se determina si continuar o no con otro ciclo. Se planea la siguiente fase del proyecto.

Este modelo a diferencia de los otros, toma en consideración explícitamente el riesgo, esta es una actividad importante en la administración del proyecto.

El ciclo de vida inicia con la definición de los objetivos. De acuerdo a las restricciones se determinan distintas alternativas. Se identifican los riesgos al sopesar los objetivos contra las alternativas. Se evalúan los riesgos con actividades como análisis detallado, simulación, prototipos, etc. En la figura 3 se muestra el modelo que se utilizó para el desarrollo del proyecto.

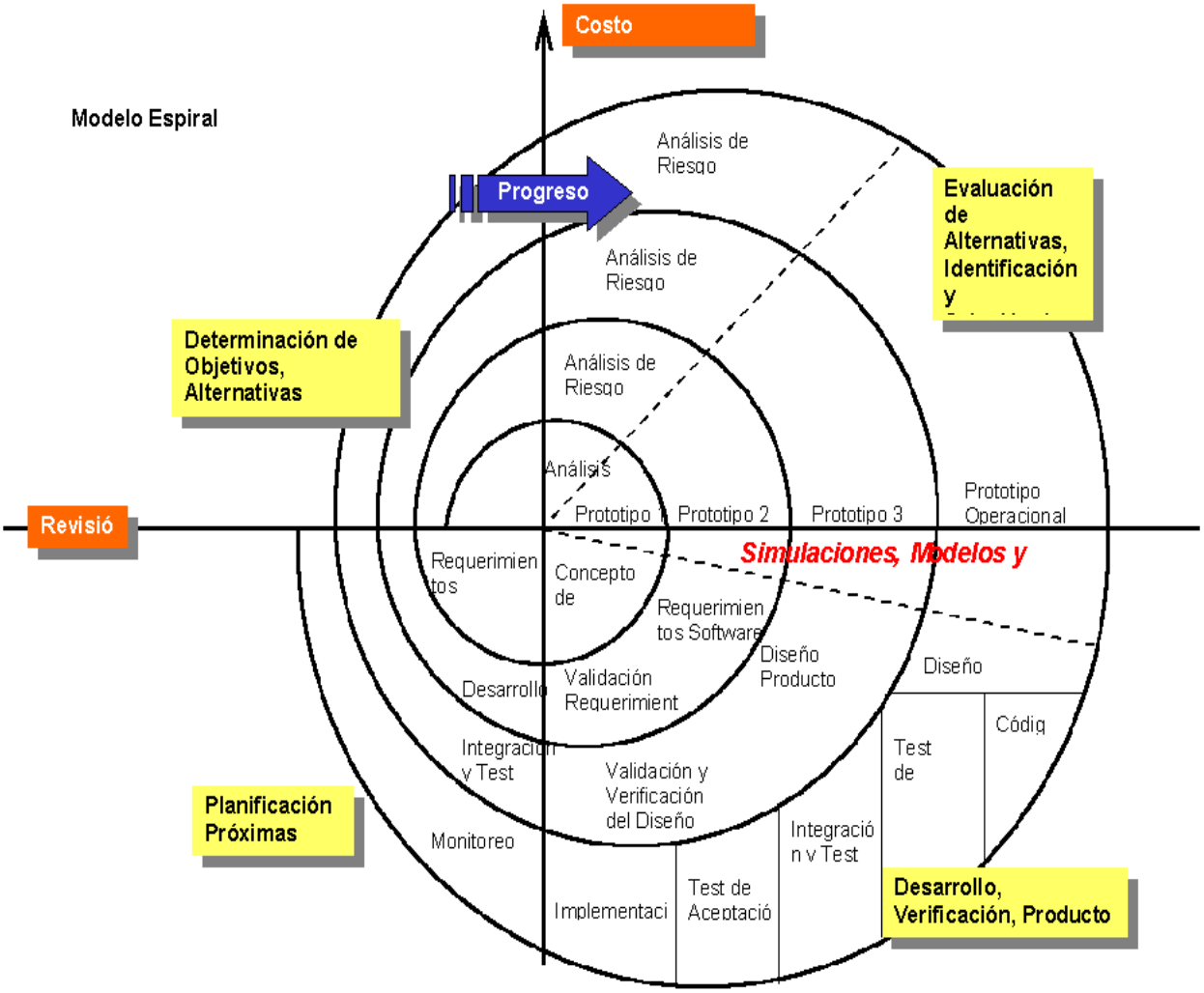


Fig.3. Modelo de desarrollo en espiral.

8.3 GESTIÓN DE RIESGOS.

8.3.1 CLIENTES.

El cliente sólo tiene conocimiento básico referente a cómo utilizar la computadora.

El cliente no cuenta con los conocimientos suficientes para el manejo del sistema o software, y algunos problemas que se les presenten en el uso cotidiano del sistema, para poder solucionar este problema se hará un Manual de usuario para el manejo del sistema y para darle mantenimiento a de todos los posibles problemas que surjan en el manejo del sistema.

8.4 ANÁLISIS DE RIESGOS.

8.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS RIESGOS POSIBLES.

No.	Descripción.	Respuesta si ocurre o acción para evitar.
1	Sobrepasar los costos de desarrollo previstos.	• Hacer une buena planeación. • Guardar una reserva de dinero por si ocurre.
2	Cambios en el alcance y los requerimientos de la parte del cliente.	• Hacer un bueno contrato / análisis. • Planear un nuevo ciclo de análisis de los cambios no previstos antes

		de seguir.
3	Mala estimación de los costos durante la fase de inicialización.	• Hacer un buen análisis. • Si ocurre, cambiar la asignación de los recursos.
4	Sobrepasar el calendario previsto / Mala estimación del tiempo necesario.	• Negociar más tiempo. • Aumentar recursos humanos (en relación con los costos). • Entregar una versión beta del programa.
5	Incremento de esfuerzos en la resolución de problemas técnicos, operacionales o externos.	• Hacer un buen análisis. • Cambiar la asignación de los recursos según prioridades.
6	Pérdida de recursos humanos no prevista.	• Emplear otra persona. • Prever personas ya capacitadas. • Repartir conocimientos / responsabilidad entre varias personas.
7	Problemas con tecnologías no controladas / problemas para entender complejidad de nuevas tecnologías	• Analizar bien lo requerimientos técnicos de lo que se quiere hacer. • Capacitar a las personas antes de

	requeridas por el proyecto.	iniciar el proyecto. • Monitoreo tecnológico continuo.
8	Problemas de integración de las diferentes partes del proyecto desarrolladas en paralelo.	• Planear y tener una buena comunicación. • Documentos de seguimiento del proyecto accesibles para todos.
9	Falta de liderazgo en el equipo.	• Buena comunicación, reportes de problema. • Si ocurre, tal vez cambiar de líder
10	Riesgos de monitoreo y de implementación.	• Reportes, seguimiento y liderazgo.
11	Cambios legales, de normas o de estándares.	• Usar normas aprobadas y establecidas. • Si ocurre, adaptar el contrato.
12	Desastres naturales (fuego, inundación, terremoto, otros).	• Usar protecciones, respaldos, en diferentes lugares, contratar seguros. • Si pasa, negociar con el cliente más tiempo y recursos.

8.5 CASO DE USO.

En la figura 4 se muestran los actores o las personas que operarán el Sistema que son: Química y Técnico, en donde tendrán interacción directa con el Sistema.

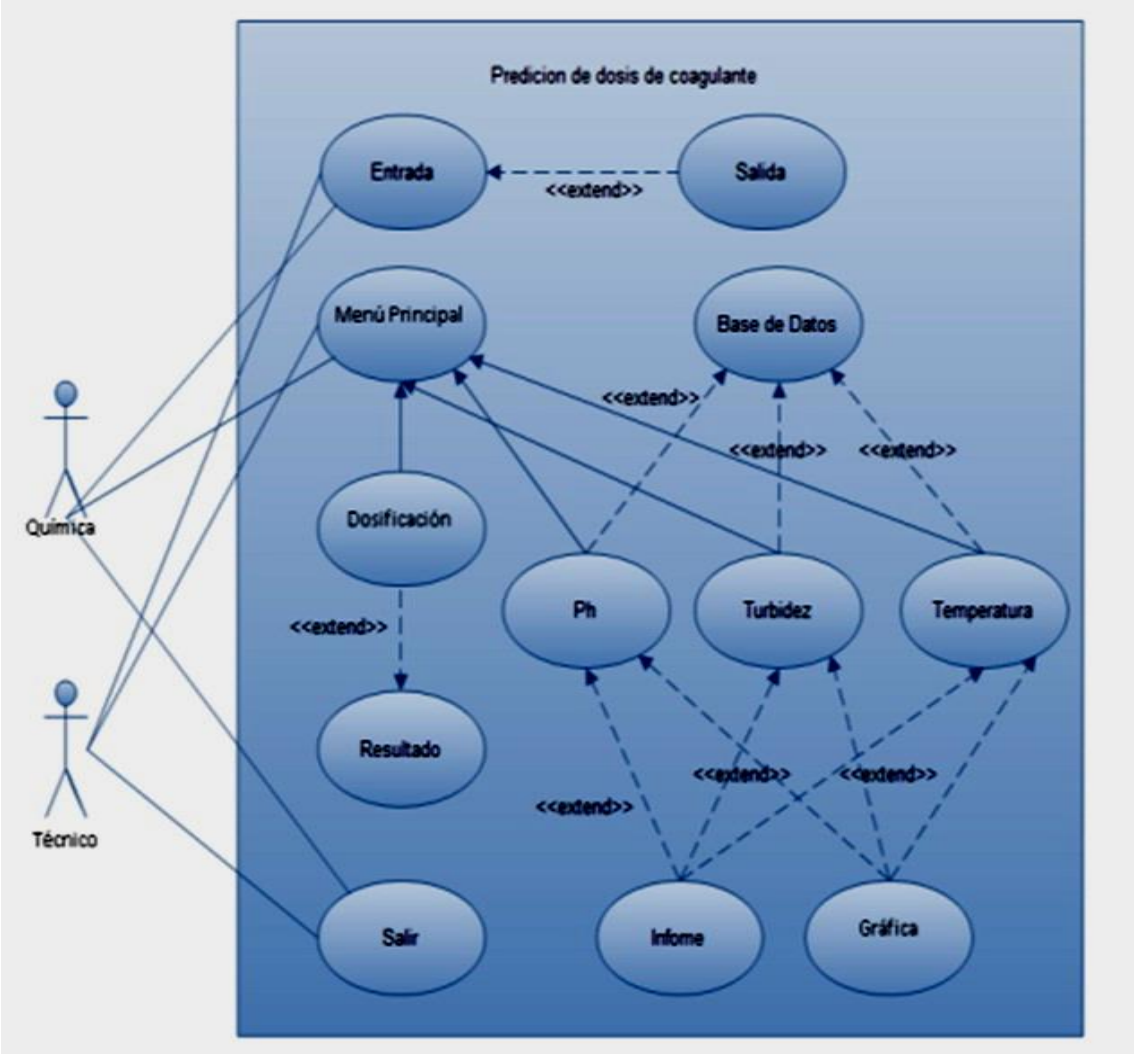


Fig.4 Caso de uso

9.- RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICOS Y PROGRAMAS.

9.1 DIAGRAMA A BLOQUES.

Para llevar a cabo la predicción de la dosis de coagulante, se necesitan datos disponibles para analizarlos mediante componentes principales, esto será un pre-tratamiento para determinar las entradas al software inteligente que se muestra en la figura 5.

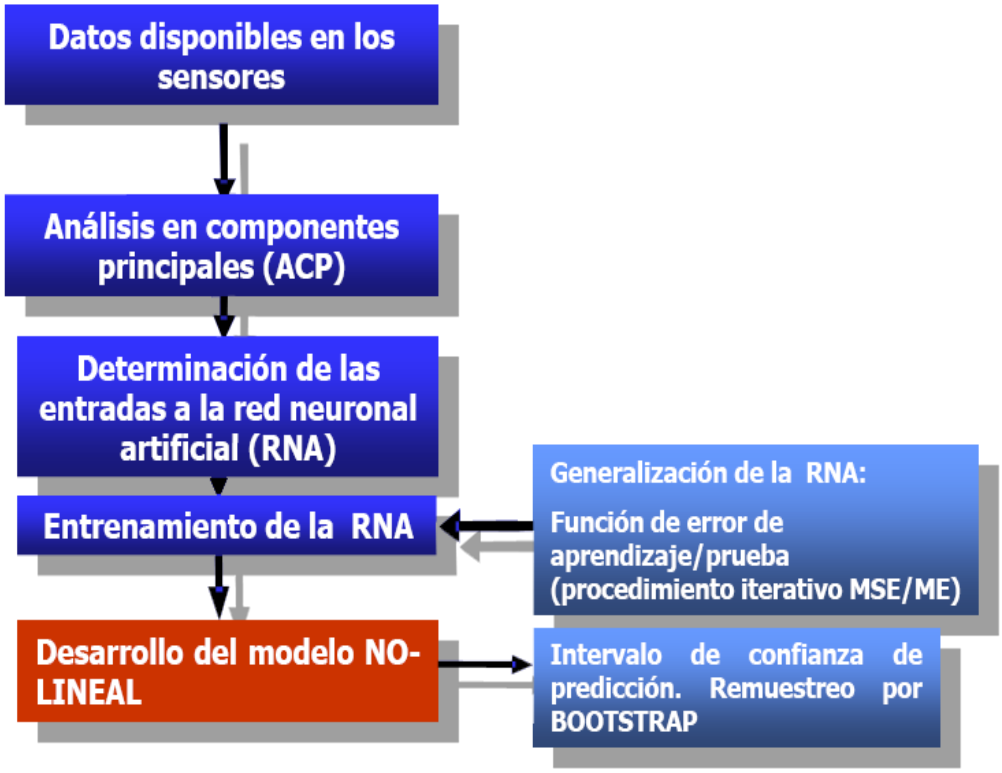


Fig. 5 Diagrama a bloque.

El entrenamiento de la red neuronal artificial consiste en aprender las variables proporcionadas y de esa manera poder predecir la dosis de coagulante. Dentro del aprendizaje existe una función de error, una de las alternativas de dónde puede estar el error es que exista un dato fuera de los rangos establecidos, el software lo tomará como desconocido por no encontrarlo dentro de la base de datos o por capturar datos erróneos.

El desarrollo del modelo es NO – LINEAL, no existe una expresión matemática que pueda representar su funcionamiento debido al origen de las variables que describen su comportamiento. Las variables características del agua a la entrada del proceso de potabilización varían de diferente forma en la temporada de lluvias y en la temporada de ausencia de dichas lluvias.

Por tanto, es necesario utilizar herramientas del control inteligente (redes neuronales, inteligencia artificial) para establecer un intervalo de confianza para la predicción.

9.2 DIAGRAMA A BLOQUES GENERAL.

A la entrada se tendrán las propiedades de las variables a evaluar pH, temperatura, turbidez. Los datos serán almacenados a una base de datos para ser aprendido y evaluado por el sistema inteligente que se muestra en la figura 6.

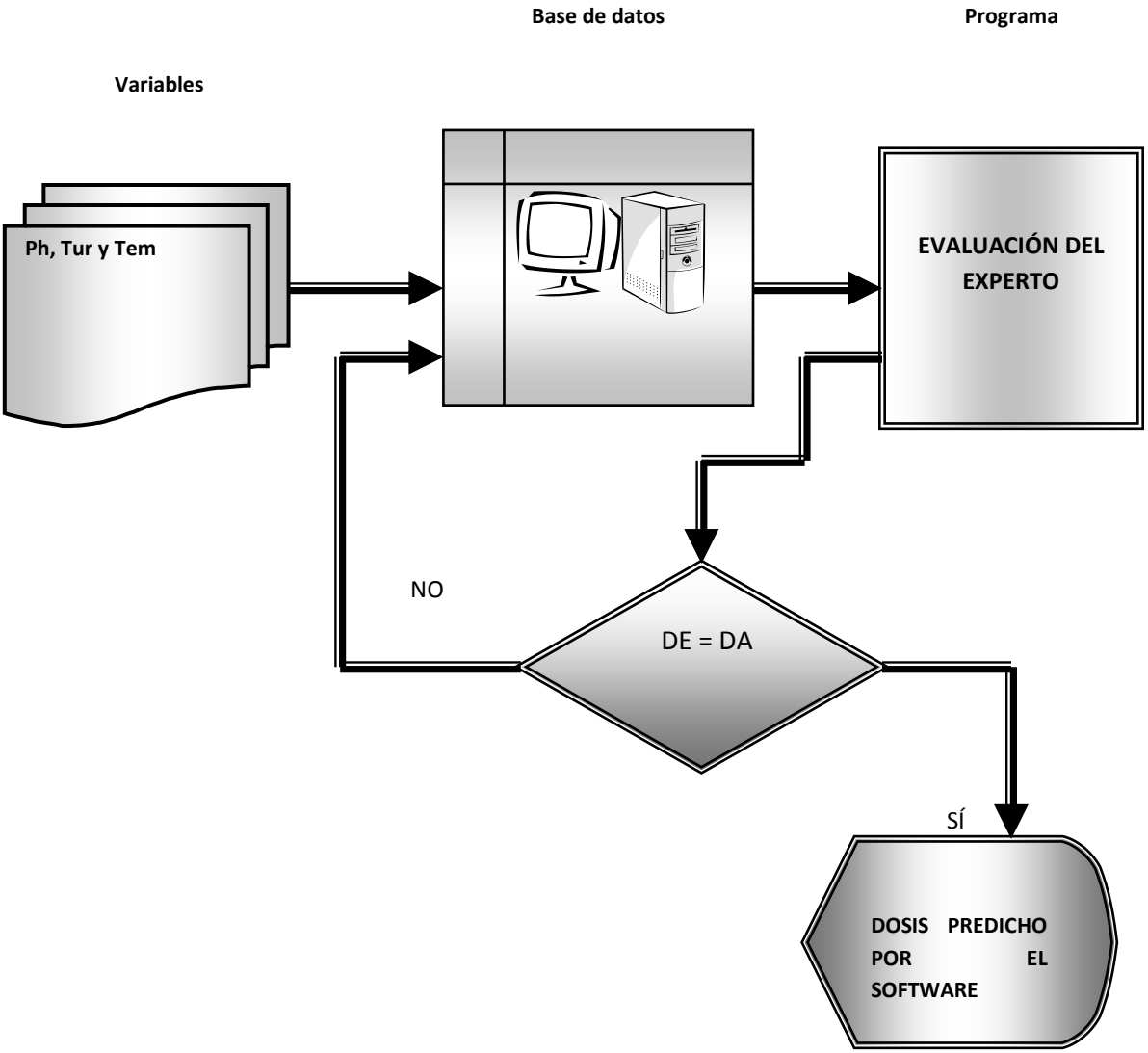


Fig. 6 Diagrama a bloque general.

La red neuronal artificial aprenderá los datos con la finalidad de suministrar la dosis del coagulante, de lo contrario las variables son nuevamente evaluadas hasta que el sistema inteligente obtenga un intervalo de confianza para predecir.

9.3 DIAGRAMA A BLOQUES ESPECÍFICO.

La aplicación de redes neuronales permitirá tomar decisiones a la salida de reactivos a inyectar. El software obtendrá los datos de entrada que se encuentren almacenados en una base de datos (variables de entrada) y de acuerdo a eso, buscara datos históricos similares con los datos de entrada (capas ocultas), para tomar la decisión de la unidad de dosis a la salida. El siguiente diagrama nos muestra el funcionamiento de la red neuronal (Figura 7).

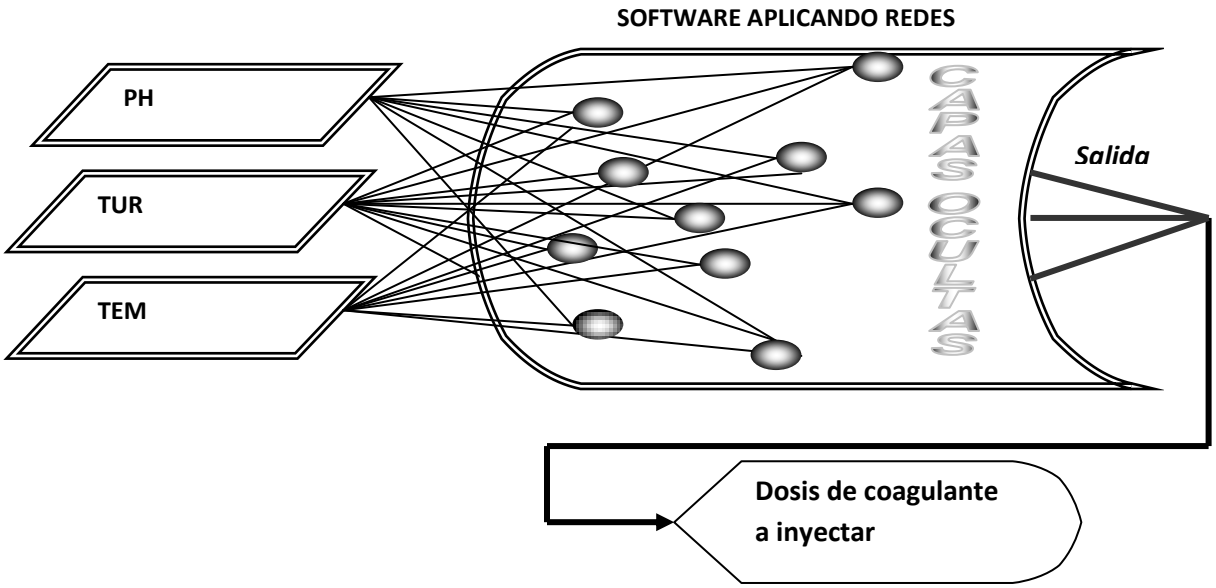


Fig.7 Diagrama a bloque específico.

Las capas ocultas son los datos históricos de la planta potabilizadora, la salida del software será un resultado con un rango de error mínimo a la dosis real realizada manualmente.

9.4 METODOLOGÍA.

El proceso de la coagulación es difícil de modelar con esquemas tradicionales, debido a su comportamiento no-lineal, esto se refiere a que los datos no siempre van a resultar los mismos, éstos van a variar dependiendo del tiempo (medio ambiente).

El método que se propone para el control automático del proceso de coagulación de la planta de producción de agua potable (sensor de software), toma en cuenta las siguientes etapas: Análisis de los datos descriptores del agua, el pretratamiento (utilizando análisis en componentes principales ACP, el desarrollo a base de redes neuronales, la aplicación de un procedimiento iterativo para probar los datos de entrenamiento y prueba y la determinación de un intervalo de confianza de la predicción aplicando la técnica bootstrap).

9.5 DIAGRAMA GRÁFICO DE PROCESOS.

En la figura 8 se muestran los diferentes procesos que servirán para poder predecir la dosis de coagulante.

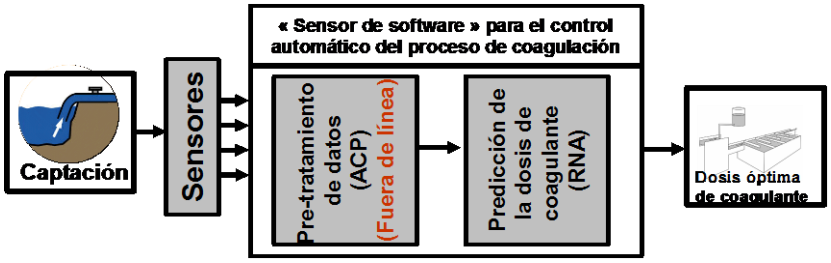


Fig.8 Predicción de la dosis de coagulante.

9.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DEL DESARROLLO.

9.6.1 MODELO MATEMÁTICO.

El modelo matemático es basado de acuerdo a las variables de entrada que se muestra en la figura 9.

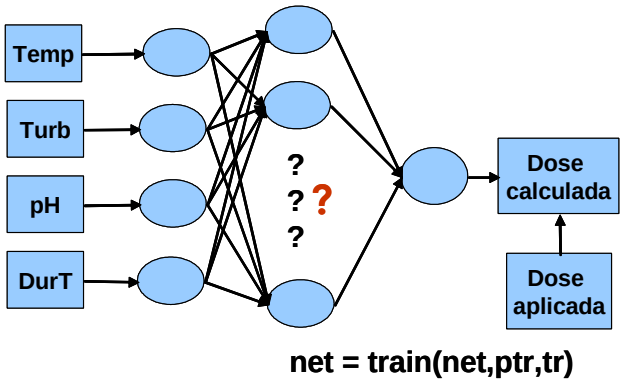


Fig.9 Detalle del sensor de software.

La expresión de salida del perceptrón multicapa es:

$$y(x) = f\left(\sum_{j=1}^{H} W_j h_j + W_0\right) \quad and \quad h_j = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_{ji} x_i + w_{j0}\right) \qquad (3)$$

Donde

w_{ji} = son los pesos entre la capa de la entrada y la capa oculta

W_j= son los pesos entre las capas ocultadas y la capa de la salida.

f = es la función de activación. La función *f* de la transferencia puede ser cualquier función pero para las aplicaciones más prácticas de redes neuronales es importante tener una función continua.

9.6.2 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA.

Existen tres variables principales de entrada al sistema experto, estas variables son: la turbidez, el pH y la temperatura, de acuerdo a las características de cada una de ellas, el software tomará la decisión para una buena dosificación, a continuación se definen cada una de las variables.

9.6.2.1 TURBIDEZ.

Esto indica que el agua contiene diferentes cantidades de materia sólida suspendida, las sustancias disueltas generalmente son: arcilla, fango, materia orgánica e inorgánica, componentes de color orgánico soluble, entre otros.

9.6.2.2 PH.

Es una medida que indica la acidez del agua. El rango se encuentra de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio, es decir; rango neutral, donde el agua está en su estado normal. Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, presenta alcalinidad básica.

El pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. El agua que contenga más iones de hidrógeno tiene una acidez mayor, mientras que el agua que contenga más iones de hidróxido indica un rango básico.

El pH puede afectarse por componentes químicos en el agua, el pH es un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente. La unidad de medida del pH se da en "unidades logarítmicas”. Esta medición será realizada con un sensor que mida el pH.

Es muy importante que el pH se encuentre dentro del rango establecido para que el agua quede libre de bacterias, una de las desventajas es que si el pH está por debajo del rango promedio, puede que el agua sea muy ácida, de lo contrario si el agua está arriba del rango promedio la alcalinidad será un factor a que el agua no sea clarificada.

9.6.2.3 TEMPERATURA DEL AGUA.

La temperatura del agua es importante para los que hacen uso de ella, la baja o alta temperatura (caliente o fría), puede afectar la capacidad del agua para retener oxígeno y la capacidad de los organismos para resistir ciertos tipos de

contaminantes. Es muy importante que la temperatura del agua se mantenga a temperatura ambiente que es lo normal para una buena clarificación.

Una de las funciones destacadas en la salida de datos es la predicción de reactivos que se deben agregar al agua. La dosis de coagulante para la clarificación del agua, será dada por el sistema inteligente. Es importante recordar que la dosis de coagulante a la salida es el reactivo a inyectar en el proceso de clarificación conocida como coagulación – floculación.

9.6.3 CREACIÓN DE LA RED.

En Matlab existe una instrucción conocida como newff. Esta función devuelve una variable que representa la red (descritos en el orden en que se colocan).

Las variables son:

- R: es una matriz cuyo número de filas es el número de entradas.
- [Slayer1, Slayer2]: es un vector que describe el número de neuronas que tienen todas las capas ocultas de la red.
- {Funciones}: es un vector de varias cadenas de caracteres en el que se señalan las funciones de activación que van a poseer todas la neuronas de una capa.

9.6.4 ENTRENAMIENTO EN MATLAB.

Para entrenar la red neuronal se utiliza la función train. Dicha función se utiliza como argumento el nombre de la red que se quiere entrenar y los patrones, compuestos por unos vectores de entrada y sus correspondientes salidas. De esta manera la línea de código es: [net, pr]= train (net,a,p)

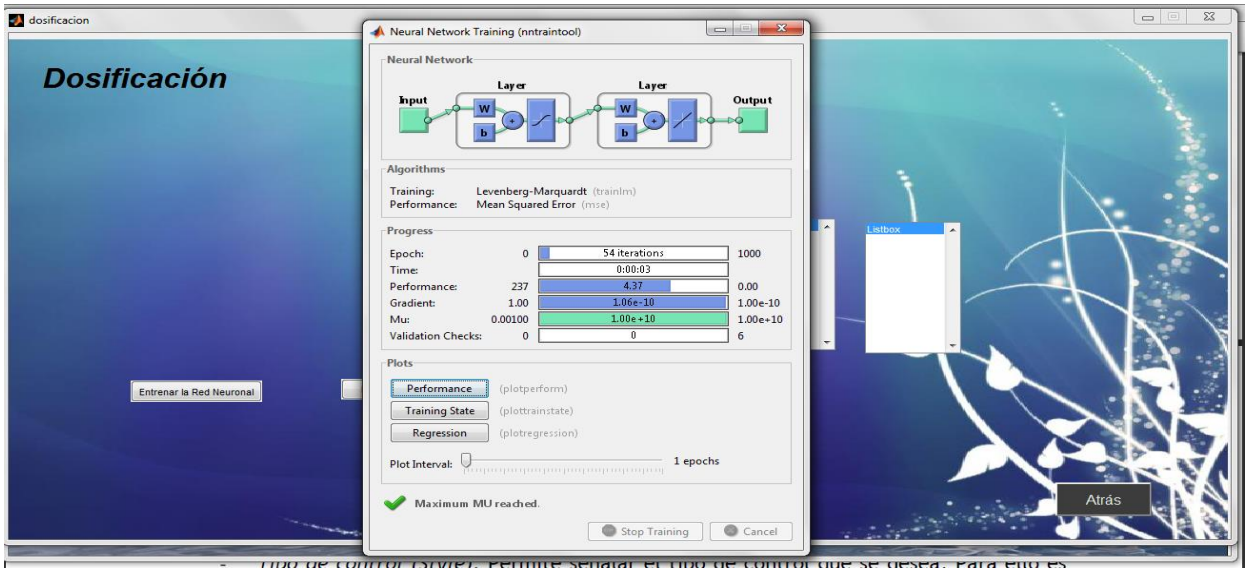
La variable pr contiene la información sobre el proceso de entrenamiento y la variable net contiene la red ya entrenada.

9.7 PANTALLAS.

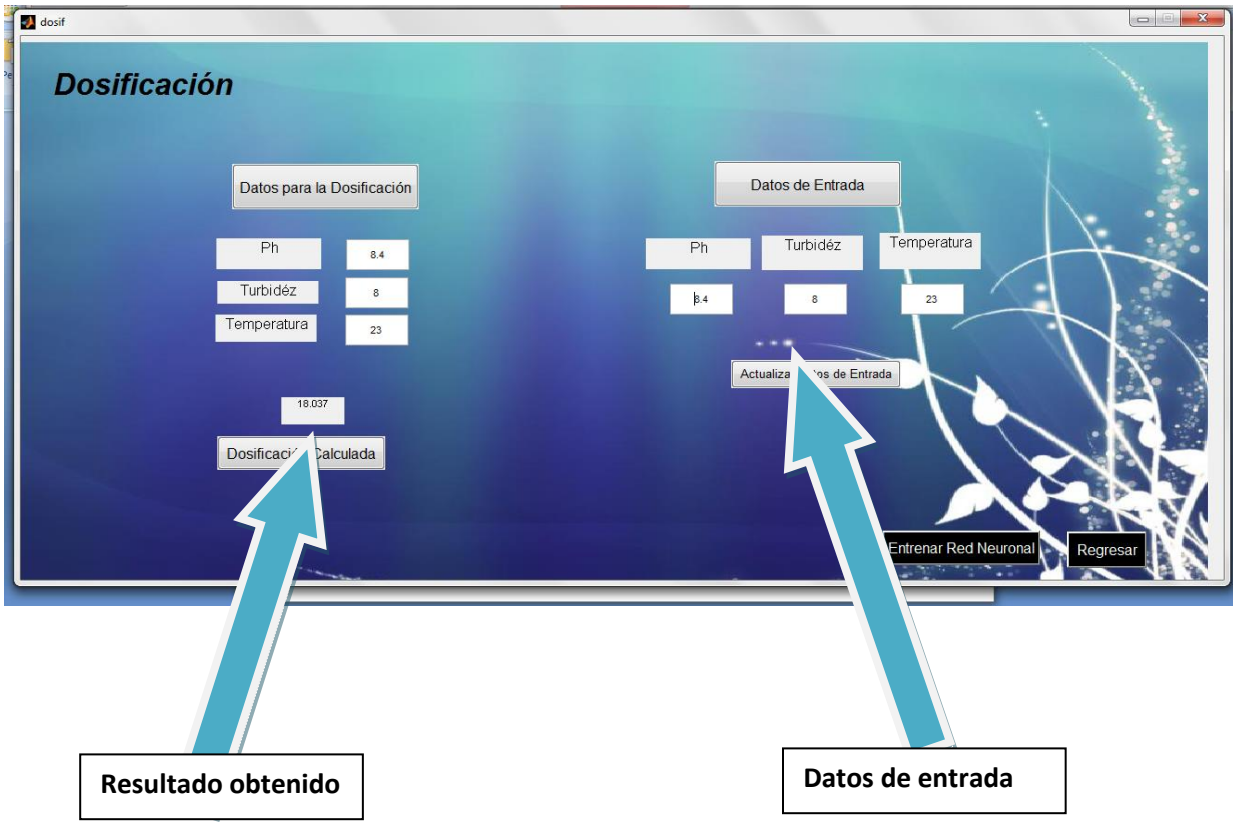
9.7.1 PANTALLA INICIO.

Contiene un menú con las opciones de ir a dosificación, gráficas de pH, turbidez, temperatura y salir.

9.7.2 ENTRENANDO LA RED NEURONAL.

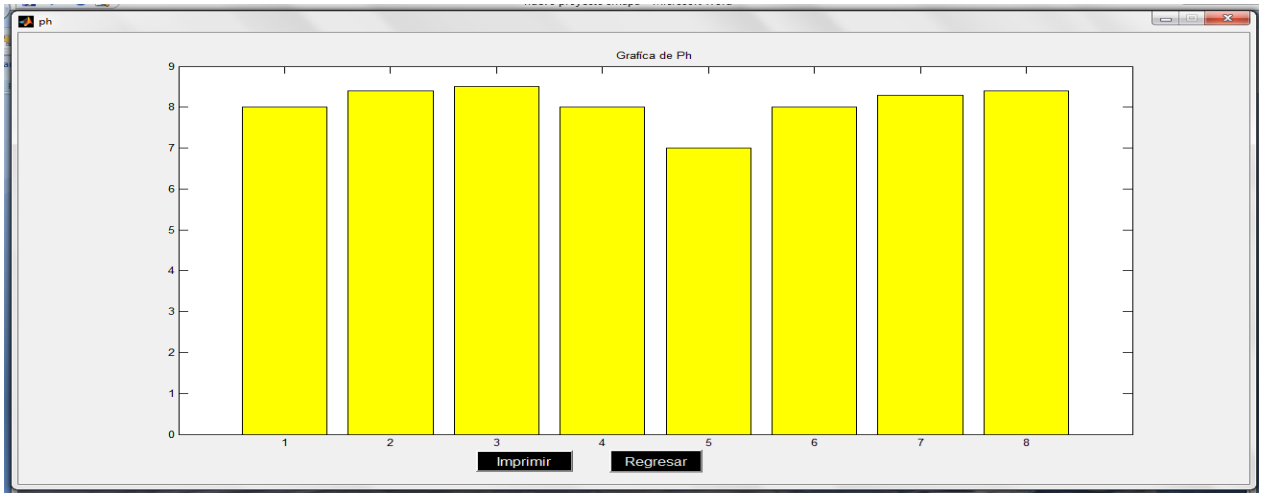


9.7.3 PREDICCIÓN CALCULADA CON DATOS DE ENTRADA PH, TURBIDEZ, TEMPERATURA.



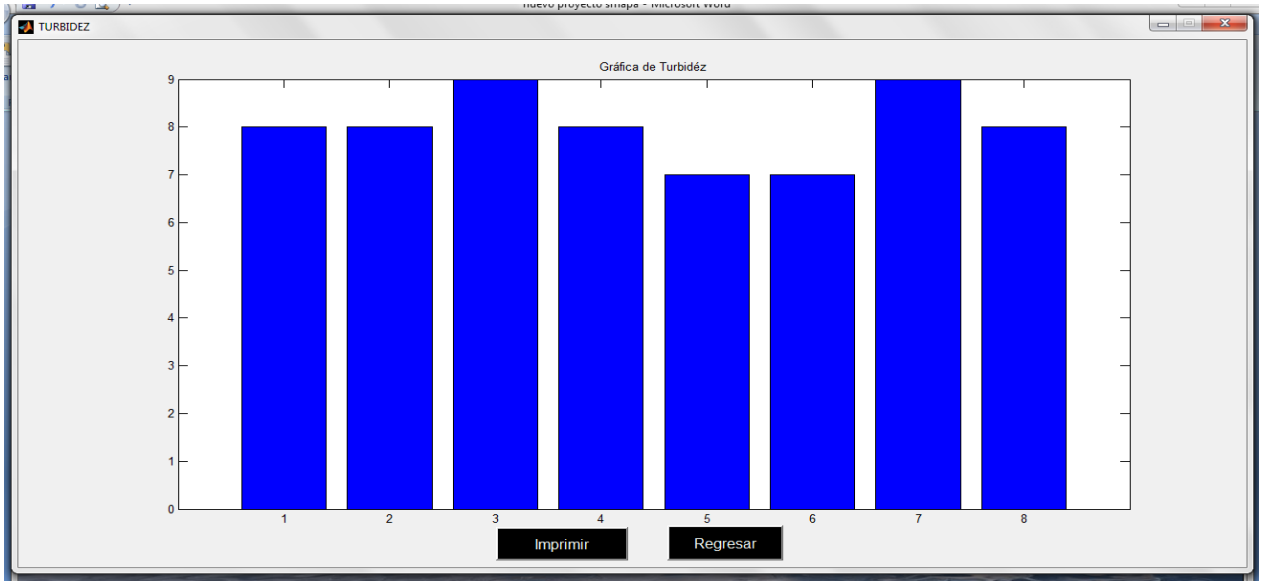
9.7.4 GRÁFICA DE PH.

Muestra el comportamiento del pH de entrada.



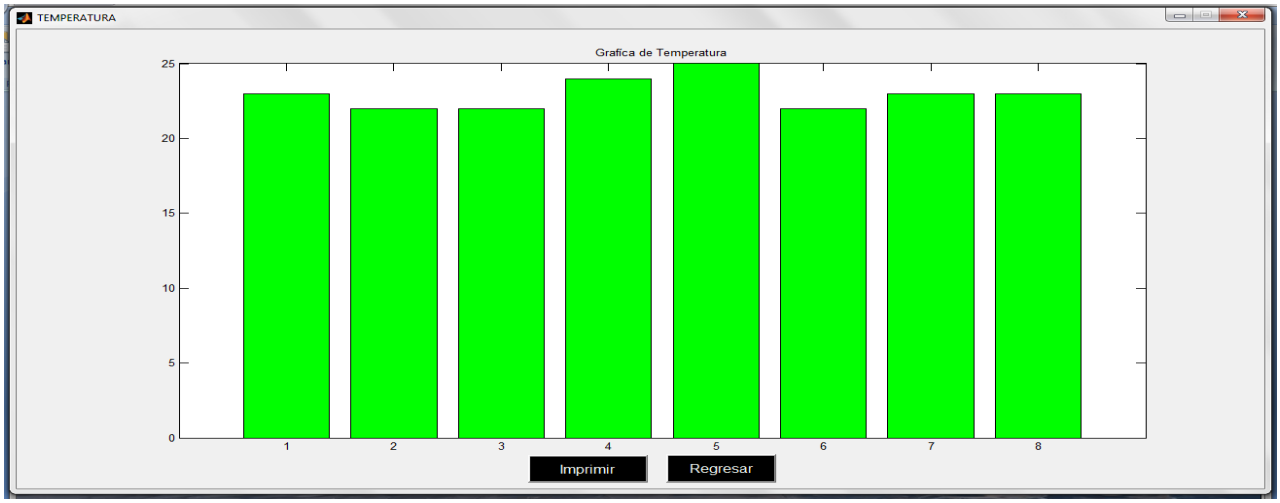
9.7.5 GRÁFICA DE TURBIDEZ.

Muestra el comportamiento de la turbidez de entrada.



9.7.6 GRÁFICA DE TEMPERATURA.

Muestra el comportamiento de la temperatura de entrada.



9.8. ARCHIVOS .MS.

9.8.1 PÁGINA DE INICIO. MENU.

```
function varargout = principal(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @principal_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @principal_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
```

```
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function principal_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

[x,map]=imread('inicio.png','png');
%Representamos imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off
text(220,125,'Sistema Municipal de Agua Potable y
Alcantarillado','Fontname','Arial','Fontsize',25,'Fontangle','Italic',
...
'Fontweight','Bold','color',[1 1 1]);

text(220,175,'Predicción de Dosis de Coagulante','Fontname', ...
'Arial','Fontangle','Italic','Fontweight','Bold', ...
'Fontsize',14,'color',[0 0 0]);
% Choose default command line output for principal
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
```

9.8.2 DOSIFICACIÓN.

Función para leer valores de entrada y compararla con la red neuronal.

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
load dturbidez.dat
load dtemperatura.dat
load dph.dat
```

```
ptr=[ dturbidez'; dtemperatura'; dph'];
load ddosificacion.dat
tr = [ddosificacion'];

net = newff(minmax (ptr),[20 1],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');
%if (a < 0)
net = train(net,ptr,tr);
A=handles.edit1;
B=handles.edit2;
C=handles.edit3;

valores=[ B'; C'; A'];

atr = sim(net,valores);

set(handles.listbox1,'String',atr);
```

9.8.3 ENTRENAMIENTO DE LA RED.

```
ptr=[ dturbidez'; dtemperatura'; dph'];
load ddosificacion.dat
tr = [ddosificacion'];

%algorithme Levenberg Marquardt
net = newff(minmax (ptr),[20 1],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');
%if (a < 0)
net = train(net,ptr,tr);
```

10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1 CONCLUSIONES.

El Sistema “Predicción de la dosis de coagulante de una planta potabilizadora”, permite al operador de la planta potabilizadora de agua de SMAPA, mejorar las actividades del proceso de potabilización de forma rápida y eficiente, él podrá visualizar el comportamiento de la planta con la ayuda de las gráficas del pH, de turbidez y de la temperatura, las cuales se grafican en un periodo determinado de tiempo.

Así también el operador ya no tendrá que hacer las actividades acostumbradas de forma manual, sino ahora llevará a cabo esas actividades de forma automatizada, logrando con ello una reducción en cuanto a tiempo, esfuerzo y economía.

Por otro lado, la ciudadanía en general estará contenta de que el agua que consume a diario es de calidad y sin ningún riesgo de contaminante alguno.

Al llevar a cabo el proceso manual, se tiraban desechos químicos a la tierra que dañaban al subsuelo, ahora, con la implementación de este Sistema, se contribuye al cuidado del medio ambiente con la reducción de pérdidas químicas.

10.2 RECOMENDACIONES.

Para tener una buena dosificación de coagulante que se le agrega al agua, se recomienda verificar la cantidad de agua que entra en la planta ya que no es constante.

11.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Moreno Rodríguez Alfonso. Tesis: Universidad Carlos III Madrid.

(2) Collantes Duarte Joanna Verónica. Universidad de los Andes. Instituto de estadísticas aplicadas y computación. Predicción de Redes Neuronales.

(3) MySQL 5.0 Manual, Capítulo 25. Conectores, 2010, Corporation Oracle y MySQL Server. http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/connectors.html.

(4) Ramírez Francisco Fernando. Tesis: Universidad Complutense de Madrid.

(5) García Quiroz Adán. Instituto Politécnico Nacional. Redes Neuronales

ANEXOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
SEGUIMIENTO DE PROYECTO DE RESIDENCIAS PROFECIONALES

ALUMNO: Jeremías Gómez Sánchez. No. DE CONTROL: 07270180

NOMBRE DEL PROYECTO: Predicción de la dosis de coagulante de una planta potabilizadora. EMPRESA: SMAPA.

ASESOR EXTERNO: Ing. Obdulia Hernández Vázquez. ASESOR INTERNO: Ing. Daniel Ríos García.

PERIODO DE REALIZACIÓN: Enero-junio 2011.

		SEMANAS														
ACTIVIDAD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investigación y análisis de la planta.	P															
	R															
Recopilación de información.	P															
	R															
Análisis de requerimiento.	P															
	R															
Diseño del Sistema de predicción de coagulante.	P															
	R															
Desarrollo y simulación del Sistema.	P															
	R															
Etapa de pruebas y corrección del software.	P															
	R															

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.

Implementación del software.	P																
	R																
Informe de avance del Proyecto.	P																
	R																
Informe final del Proyecto.	P																
	R																

OBSERVACIONES		Marzo 30-31	Mayo 3-4	Junio 8-9
ENTREGA DE REPORTES	Docente.	Ing. Daniel Ríos García.		
	Alumno.	Jeremías Gómez Sánchez.		
	Jefe Depto.	M.C. Aida G. Cossio Martínez.		

SISTEMA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

SMAPA
TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

4ª Oriente Sur No. 1621, Fraccionamiento Lomas del Venado, C .P. 29080

Teléfono (961) 8-71-70, Ext. 7111, 7168 y 7169. Smapa01yahoo.com. mx

TUXTLA GUTIÉRREZ
al pie del cañón

Dirección Administrativa
Depto. de Recursos Humanos
Oficio Núm. DA/DRH/38/11
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
Julio 8 de 2011.

M.C. ROBERTO CARLOS GARCIA GOMEZ.
JEFE DEL DEPTO. DE GESTION TECNOLOGICA Y VICULACION.
INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ.
C i u d a d.

Por medio de la presente me permito informarle que la **C. JEREMIAS GOMEZ SANCHEZ,** estudiante de la carrera **INGENERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**, del **INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ,** con No. de Control Escolar **07270180**, **concluyó** su **PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**, en el "PREDICCION DE LA DOSIS DE COAGULANTE DE UNA PLANTA POTABILIZADORA" en la planta potabilizadora No 2, de este Sistema Municipal de Agua potable y Alcantarillado, durante el periodo comprendido del **23 de febrero del 2011 al 04 de Julio del año en curso**, cubriendo un total de **640** horas.

Se extiende la presente para los fines legales que al interesado convengan, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas., a los **OCHO DÍAS DE EL MES DE JULIO DEL DOS MIL ONCE.**

A t e n t a m e n t e

Lic. Oscar Leonel Martínez Zamudio.
Jefe del Depto. de Recursos Humanos

C.c.p. Ing. Joaquín Ruiz Infante.- Gerente General del SMAPA.-Para su conocimiento.
Lic. Mario Santos Solís.- Director Administrativo.- Mismo Fin.
Téc. Edgar Román Zepeda.- Coordinador de Producción.- Mismo Fin.
Interesado
Archivo/Minutario
KCTO/map'

TUMUNICIPIO TRABAJA CUIDANDO EL AGUA