

Sistema de tratamiento de agua jabonosa empleando Machine Learning

Luis Alberto Reyes Ibarra, Perla Alejandra Herrera Castillo, Christian Ríos Chavarría

Universidad Politécnica de Durango Carr. Dgo-Mex Km 9.5 S/N Loc. Dolores Hidalgo
C.P. 34300 Durango, Dgo Tel. 618 1501323

Ing. Telemática

luis.reyes@unipolidgo.edu.mx, perla.herrera@unipolidgo.edu.mx, christian.rios@unipolidgo.edu.mx

RESUMEN

El proyecto pretende ser un instrumento en casas habitación que cuenten con una lavadora, ya que el prototipo diseñado toma como entrada el agua de enjuague de lavadoras convencional o automática. El objetivo es tratar el agua de enjuague o jabonosa para darle diversos usos comunes en una casa. El sistema de tratamiento utiliza diversos componentes como un agitador, inyector de minerales, filtro adaptado para las características del agua, etapa de sensado y principalmente un algoritmo inteligente que permite clasificar el uso que se puede dar al agua una vez tratada. Este algoritmo es implementado en una Raspberry Pi 3 en conjunto con una etapa de sensores de pH y turbidez. La principal ventaja de este prototipo es que utiliza un árbol de decisión inteligente que aporta certeza en la determinación del uso del agua. La automatización del sistema coadyuva al uso efectivo del agua.

Además se busca reducir el consumo de agua el cual es excesivo debido a que en promedio se consumen 200 litros en ciclos de lavados, esos litros pueden ser reutilizados haciendo el tratamiento adecuado mediante el uso de este prototipo.

Palabras clave: Tratamiento de Agua, Raspberry Pi 3, Python, Ph, Turbidez

ABSTRACT

The project aims to be an instrument in houses that have a washing machine, since the designed prototype takes as input the conventional or automatic washing machine water. The goal is to treat the glued or soapy water to give it various common uses in a house. The treatment system uses various components such as a stirrer, mineral injector, filter adapted to the characteristics of the water, sensing stage and mainly an intelligent algorithm that allows to classify the use that can be given to the water once treated. This algorithm is implemented in a Raspberry Pi 3 in conjunction with a stage of pH and turbidity sensors. The main advantage of this prototype is that it uses an intelligent decision tree that provides certainty in determining the use of water. In addition, the automation of the system contributes to the effective use of water.

It also seeks to reduce water consumption which is excessive because on average 200 liters are consumed in washing cycles, those liters can be reused by making the appropriate treatment through the use of this prototype.

Keywords: Tratamiento de Agua, Raspberry Pi 3, Python, Ph, Turbidez

1. INTRODUCCIÓN

Según el INEGI en México un 70.9% de los hogares utiliza una lavadora manual o automática, también hay datos que mencionan que el 40% del agua que se consume en México se debe al uso de las lavadoras, es por esto, que este proyecto pretende desarrollar un sistema que permita la reutilización del agua de los ciclos de lavado aplicando filtros y haciendo uso de algoritmos inteligentes para la toma de decisiones de acuerdo al tratamiento del agua requerido [1].

El prototipo propuesto pretende contribuir en dos aspectos primordiales que son el uso de tecnologías de impacto como son: el uso de algoritmos inteligentes como un árbol de decisión empleando sensores de pH y turbidez que permitirán contar con un sistema inteligente que me proporcione agua tratada para diversos usos y el otro aspecto importante es el ahorro en el consumo de agua en casas habitación.

Una de las ventajas de este proyecto es que no existen máquinas automatizadas para tratar el agua de los ciclos de lavado de una lavadora convencional o automática, actualmente existen filtros comerciales pero éstos no monitorean la calidad del agua lo que no permite el uso adecuado.

En este prototipo se pretende que el sistema indique el uso que le puede dar el usuario al agua una vez tratada, para esto se realizan mediciones de los niveles de turbidez y pH, éste procedimiento se realiza con el algoritmo inteligente que toma decisiones para asignar etiquetas para el correcto uso del agua, dichas etiquetas tendrán un patrón de variación entre calidad óptima, regular y baja.

El principal valor agregado del proyecto es el de consumir menos agua por hogar ante la problemática mundial del uso desmedido del agua.

1.1 Algoritmo inteligente

Para la implementación del prototipo se utilizó la librería de Scikit-learn que es Open Source y licencia BSD.

Scikit-learn es una librería para aprendizaje de máquina de software libre para el lenguaje de programación Python [2] Incluye varios algoritmos de clasificación, regresión y análisis de grupos entre los cuales están máquinas de vectores de soporte, bosques aleatorios, Gradient boosting, K-means y DBSCAN. Está diseñada para su uso en bibliotecas numéricas y científicas como NumPy y SciPy [2]

El proyecto scikit-learn empezó con el nombre scikits.learn, un proyecto de Google Summer of Code por David Cournapeau.

Su nombre viene de la idea que se trata de una extensión auxiliar desarrollada y distribuida independientemente de SciPy [3].

El código de base original fue reescrito más adelante por otros desarrolladores. En 2010 Fabian Pedregosa, Gael Varoquaux, Alexandre Gramfort y Vincent Michel, todos de INRIA tomaron el liderazgo del proyecto e hicieron la primera distribución pública el 1 de febrero 2010 [4]



Figura 1. Scikit-learn

Algoritmos de árboles de decisión

ID3 fue desarrollado en 1986 por Ross Quinlan. El algoritmo crea un árbol de múltiples vías, encontrando para cada nodo la característica categórica que generará la mayor ganancia de información para objetivos categóricos. Los árboles crecen hasta su tamaño máximo y luego se aplica un paso de poda para mejorar la capacidad del árbol de generalizar a datos no vistos. C4.5 es el sucesor de ID3 y eliminó la restricción de que las características deben ser categóricas definiendo dinámicamente un atributo discreto (basado en variables numéricas) que divide el valor del atributo continuo en un conjunto discreto de intervalos. C4.5 convierte los árboles entrenados (es decir, la salida del algoritmo ID3) en conjuntos de reglas si-entonces. Luego se evalúa la precisión de cada regla para determinar el orden en que se deben aplicar. La poda se realiza eliminando la condición previa de una regla si la precisión de la regla mejora sin ella.

CART (Árboles de clasificación y regresión) es muy similar a C4.5, pero difiere en que admite variables objetivo numéricas (regresión) y no calcula conjuntos de reglas. CART construye árboles binarios utilizando la característica y el umbral que producen la mayor ganancia de información en cada nodo.

Scikit-learn utiliza una versión optimizada del algoritmo CART; sin embargo, la implementación de Scikit-learn no admite variables categóricas por ahora [5].

1.2 Implementación del algoritmo en Raspberry

Para la implementación de la instrumentación digital se utilizó el sistema embebido Raspberry por su capacidad de procesamiento además de que soporta Python en versiones 2.7 a 3.5 que son las requeridas para la instalación de las API scikit-learn.

Una de las desventajas de esta tarjeta es que no posee entradas analógicas que son requeridas por el sensor de pH y turbidez, para ello se utilizó un módulo convertidor ADS1115 que contiene 4 entradas analógicas con una resolución de 16 bits además cuenta con protocolo I2C que lo hace más robusto.

Para el sistema de adquisición de variables de pH y turbidez se emplean los sensores mostrados en las figuras 2 y 3. La sonda para medir pH tiene un rango de detección de 0-14 con salida analógica proporcional de 0-4.8V y un tiempo de estabilización de menos de 60 segundos [6].



Figura 2. Sonda pH

El sensor de turbidez empleado utiliza un elemento óptico para determinar el grado de turbidez en el agua, cuenta con salida analógica de 0-4.5V y una salida digital con umbral ajustable [7].



Figura 3. Sensor de turbidez

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua [8]

Tratamiento de agua

Separaciones sólido-líquido

Las partículas insolubles, presentes en el agua natural o como resultado de un proceso químico previo, se eliminan por alguno de los siguientes métodos principales: sedimentación de las partículas sólidas por diferencia de densidad, filtración en que las partículas sólidas se separan por intercepción mediante una malla de luz apropiada o con el uso de un medio sólido poroso, o mediante flotación por adición de burbujas de aire que se adhieren a las partículas sólidas y las hacen flotar. La separación de sólidos mediante hidrociclones o centrifugas son sedimentaciones aceleradas sustituyendo la fuerza de gravedad por una fuerza centrífuga auxiliar impuesta sobre la suspensión [9]

Proceso de Coagulación y Floculación

La turbidez y el color son dos características indeseables en las aguas. Ambas suelen estar causados por partículas coloidales. Mientras las partículas en el orden de magnitud de una micra, se pueden considerar en suspensión, y las de una milésima de micra entran en el dominio de moléculas en solución, los tamaños intermedios corresponden al tamaño coloidal. En estos tamaños de partícula las propiedades superficiales y las cargas eléctricas, tienen efectos más importantes que el peso relativo de la partícula en el agua e impiden su simentación.

Las partículas formadas en la coagulación, pueden ser aun pequeñas y de baja densidad. El tamaño de las partículas se puede aumentar con la adición de poli electrólitos, polímeros de moléculas de alto peso molecular y solubles en agua que, por disociación electrolítica en el agua, dan formas iónicas múltiples, capaces de actuar de puentes de unión entre las partículas coaguladas.

Las prácticas de coagulación y floculación (ver figura 4) son tratamientos previos esenciales para muchos sistemas de purificación de agua [9]

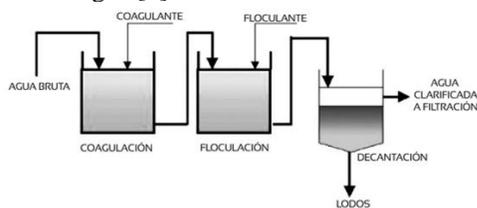


Figura 4. Proceso de coagulación-floculación

En el proceso convencional de coagulación se añade un coagulante al agua fuente para crear una atracción entre las partículas en suspensión. La mezcla se agita lentamente para inducir la agrupación de partículas entre sí para formar “flóculos”. El agua se traslada entonces a un filtro para eliminar y/o minimizar esos flóculos.

En la tabla 1 se muestran los coagulantes y floculantes más comunes [9]

Coagulante	Fórmula	Dosis ppm	
Sulfato de aluminio	$(\text{SO}_4)_2\text{Al}_2 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$	potab	30-150
		resid	100-300
Sulato férrico	$(\text{SO}_4)_2\text{Fe}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	potab	20-60
Sulfato ferroso	$\text{SO}_4 \cdot \text{Fe} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	potab	20-60
		resid	200-400
Cloruro férrico 40 %	$\text{Cl}_3 \text{Fe} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	potab	5-150
		resid	100-500
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	resid	100-800
Policloruro aluminio	$\text{Cl}_{3-n}(\text{OH})_n\text{Al}_m$	potab	15-100
Poliaminas sol 1 %	peso mol < 100000		

Floculante
Polielectrólitos catiónicos. Copolímeros a base de acrilamida con peso mol. > 1000000. Sol del 0.1 al 1 %
Id. no iónicos. Poliacrilamidas
Id. aniónicos. Poliacrilatos
Silíce activa diluida al 0.5-1 % como SiO_2
Polielectrólitos naturales: almidones, taninos, alginatos, etc.

Filtración

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena de altura variable dispuesto en distintas capas de diferente tamaño de partícula. Existen varios sistemas de filtración: por gravedad (el agua circula verticalmente por el filtro por simple gravedad) o por presión (el agua se ve forzada a atravesar el filtro mediante presión). En la actualidad estos métodos están siendo desplazados por operaciones con membranas [10].

2. DESARROLLO

2.1 Diagrama general

En la figura 5 se muestra el diagrama general del prototipo, y a continuación se describen las partes principales para su implementación.

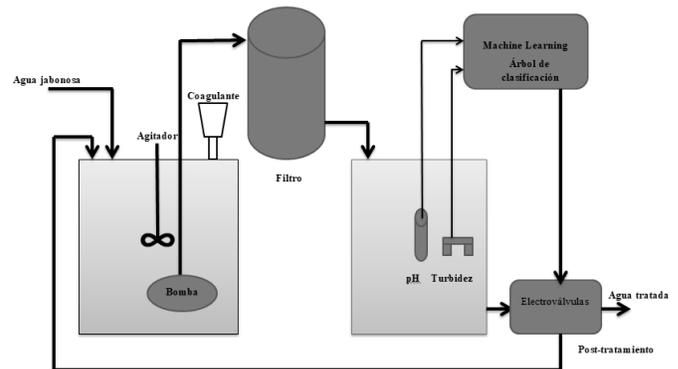


Figura 5. Diagrama general.

2.2 Sistema de coagulación

El sistema coagulante propuesto consta de un agitador y un sistema de inyección de minerales.

Este sistema es el encargado de disolver de manera continua y con una velocidad controlada el coagulante mineral que es inyectado automáticamente por un servomotor. En el diagrama general se aprecia que se conecta una bomba sumergible para una vez que finaliza el proceso coagulante el agua se traslade al sistema de filtrado por gravedad.

Tabla 1. Coagulantes y floculantes

En la figura 6 se muestra el agitador empleado para el prototipo consiste en un motor de CD de 36V/200W



Figura 6. Agitador

2.3 Filtrado

El filtro implementado (ver figura 7) consta de cinco capas, la primera está conformada por extracto de lenteja, enseguida una capa de carbón activado, después arena y por ultimo una capa de gravilla. Además cuenta con un fondo falso para permitir la salida de agua. Cada capa de material es separada por un medio poroso y la última capa por una placa de plástico perforado.

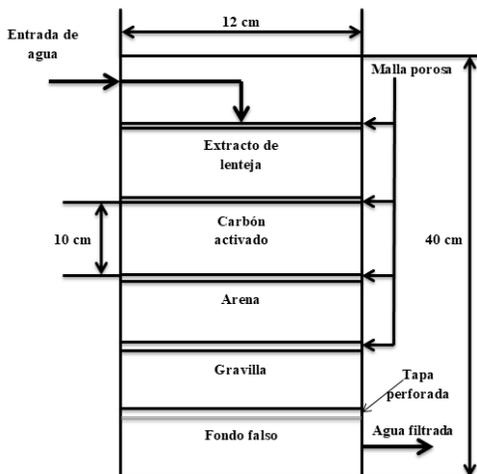


Figura 7. Diseño del Filtro.

En la figura 8 se observa el filtro vertical implementado, la entrada proviene del tanque 1 (sistema coagulante) y la salida se dirige al tanque 2 donde se toman las muestras de ph y turbidez.

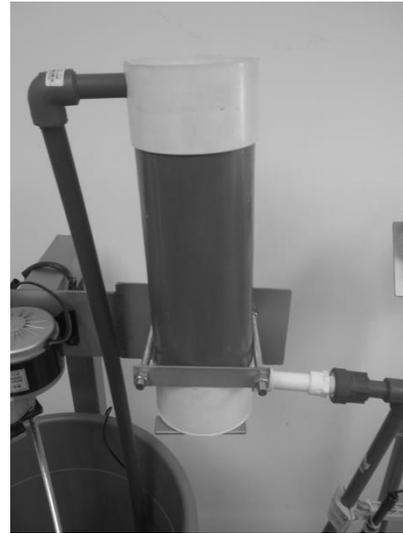


Figura 8. Filtro implementado

2.4 Etapa de sensores

Sensor de pH

El sensor de pH proporciona una señal de salida analógica directamente proporcional a la medición del pH a través de un conector BNC.

Cabe destacar que para el uso de este sensor se utilizó un convertidor ADC con protocolo I2C de 4 canales, en el canal A0 se conectó el sensor de pH y en el canal A1 el sensor de turbidez.

Para el uso de este ADC se incluyó la librería de Adafruit ADS1X15

Sensor de Turbidez

El sensor de Turbidez es importante para poder determinar la cantidad de sólidos suspendidos en el agua (TSS, Total Suspended Solids), parámetro clave para poder determinar la potabilidad del agua, a más turbidez más sólidos en el agua por lo tanto menos potable.

Este sensor mide los niveles de turbidez detectando la proporción de sólidos suspendidos en el agua al medir la transmisión y dispersión de la luz emitida. Concretamente mide a través de un fotodiodo la atenuación de la intensidad de la luz ocasionada por la dispersión debido a sustancias disueltas y no disueltas. El sensor cuenta con salida digital y analógica. En modo digital el umbral de detección es ajustable y en modo analógico el sensor proporciona una salida de voltaje proporcional al nivel de turbidez del agua.

Para realizar los ajustes de este sensor se utilizó agua pura, agua jabonosa, agua jabonosa muy sucia y agua jabonosa con diversos tipos de jabón, esto con el fin de tener parámetros de referencia bien definidos en base a los tipos de agua residual que se va a manipular. En la figura 12 se muestra el montaje de los sensores empleados.

2.5 Machine Learning. Árboles de decisión.

Los árboles de decisión (DT) son un método de aprendizaje supervisado no paramétrico utilizado para la clasificación y la regresión. El objetivo es crear un modelo que prediga el valor de una variable objetivo mediante el aprendizaje de reglas de decisión simples inferidas de las características de los datos. Para el ejemplo de la figura 9, los árboles de decisión aprenden de los datos para aproximar una curva sinusoidal con un conjunto de reglas de decisión si-entonces-otro. Cuanto más profundo es el árbol, más complejas son las reglas de decisión y más se ajusta el modelo [5]

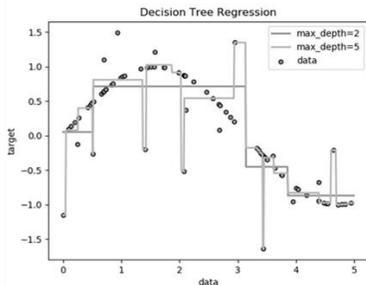


Figura 9. Salida de un Árbol de decisión con regresión.

Árboles de decisión clasificadores

DecisionTreeClassifier es capaz de realizar una clasificación de varias clases en un conjunto de datos.

Al igual que con otros clasificadores, **DecisionTreeClassifier** toma como entrada dos matrices: una matriz X, dispersa o densa, de tamaño [n_samples, n_features] que contiene las muestras de entrenamiento, y una matriz Y de valores enteros, tamaño [n_samples], que contiene las etiquetas de clase para las muestras de entrenamiento [5].

```
>>> from sklearn import tree
>>> X = [[0, 0], [1, 1]]
>>> Y = [0, 1]
>>> clf = tree.DecisionTreeClassifier()
>>> clf = clf.fit(X, Y)
```

Después de ser ajustado, el modelo puede usarse para predecir la clase de muestras empleando:

```
>>> clf.predict_proba([[2., 2.]])
array([[0., 1.]])
```

Alternativamente, se puede predecir la probabilidad de cada clase, que es la fracción de muestras de entrenamiento de la misma clase en una hoja [5].

```
>>> clf.predict_proba([[2., 2.]])
array([[0., 1.]])
```

Para la implementación del algoritmo de clasificación del agua se requiere instalar Python en versiones superiores a 3.5, además los componentes de numpy y matplotlib. La librería se puede instalar usando el instalador pip de Python.

Para verificar si se instaló adecuadamente la librería y cada uno de los componentes se requiere ejecutar lo siguiente.

```
import numpy
import matplotlib
from sklearn import tree
```

El árbol de decisión toma como entradas los atributos a considerar los cuales son las lecturas de los sensores de pH y turbidez. También tiene como entrada los valores de las etiquetas que para nuestro caso serán:

Calidad óptima
Calidad regular
Calidad baja

Una vez que el árbol de clasificación toma una decisión asignara una etiqueta que clasificara el nivel de uso del agua o poder realizar un segundo ciclo de tratamiento

El árbol de decisión es creado mediante la siguiente instrucción:

```
clasificador= tree.DecisionTreeClassifier()
```

Para proporcionar los atributos y etiquetas al clasificador se emplea la siguiente instrucción:

```
clasificador= clasificador.fit(atributos,etiqueta)
```

Una vez que se proporcionan los atributos y etiquetas es posible predecir en base a la siguiente instrucción:

```
clasificador.predict([[13.967,2500]])
```

2.6 Funcionamiento general de sistema de tratamiento

El proceso inicia al llenar el tanque 1 con agua de enjuague de una lavadora, que en este momento se hace de forma manual, una vez llenado se arranca una temporización definida de 3 minutos donde se agita con velocidad alta y a la vez se inyectan minerales (coagulación), después se agita con velocidad media por 3 minutos y se deja reposar sin agitación por 3 minutos. Enseguida se activa una bomba que trasladada el agua a un filtro vertical (filtrado) que por gravedad el agua se deposita en el segundo tanque, en dicho tanque se tienen los sensores de turbidez y pH que recolectan muestras durante 1 minuto, estas muestras son los atributos de entrada del algoritmo inteligente el cual una vez procesados los datos asigna una etiqueta de agua óptima, regular o sucia. Si es regular o sucia se puede optar por un segundo ciclo de tratamiento, pero si es óptima se podrá reutilizar dicha agua en diversos usos en el hogar.

El objetivo primordial es que la decisión de si el agua tratada es óptima sea una decisión en base a registros de datos y algoritmos inteligentes.

3. RESULTADOS

Para la etapa de tratamiento de agua jabonosa se han hecho pruebas individuales tanto del agitador como el inyector de minerales, así como del filtro. Se trabaja en el diseño del filtro para tener mejores resultados y así no realizar doble ciclo de tratamiento.

Actualmente se trabaja en la adquisición y confiabilidad de las lecturas que arrojan los sensores, para ello se trabaja con diversos muestreos con diferentes tipos de agua jabonosa, para ello se cuenta con una pantalla HMI para el monitoreo y despliegue de resultados del algoritmo (ver figura 10).



Figura 10. Pantalla HMI para monitoreo.

En la figura 11 se muestra el avance del prototipo propuesto, se omitió colocar el tanque 2 para que se aprecie donde se ubican los sensores.



Figura 11. Prototipo implementado

Como trabajo futuro también se pretende utilizar sistemas de activación automática empleando Internet de las cosas, para permitir que el usuario final cuente con diversos modos de operación del prototipo propuesto.

4. CONCLUSIONES

Uno de los objetivos primordiales de este prototipo es ahorrar agua en casas habitación empleando el prototipo propuesto.

Este prototipo busca innovar en la manera de dar el tratamiento de agua jabonosa empleando para ello librerías de Machine Learnig como Arboles de decisión.

Otra de las ventajas que se busca en el presente prototipo es que sea totalmente automatizado todo el proceso de tratamiento de agua para que el usuario final solo utilice el agua tratada.

También se establecieron parámetros estandarizados para tenerlos en cuenta en los criterios de diseño como niveles de coagulante, requerimientos de filtrado y sistemas de monitoreo empleando algoritmos inteligentes capaces de predecir los niveles de uso en agua tratada.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Primera encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares (ENCEVI)/ Comunicado de prensa núm. 541/18/Noviembre de 2018/www.inegi.org.mx
- [2] Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research 12: 2825-2830. 2011.
- [3] Dreijer, Janto. scikit-learn
- [4] <https://scikit-learn.org/stable/about.html#history>
- [5] <https://scikit-learn.org/stable/modules/tree.html#classification>
- [6] Sensor de turbidez Obtenido de: https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161_
- [7] Sensor de turbidez Obtenido de: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189
- [8] Turbidez. Obtenido de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>
- [9] Tratamiento de aguas industriales: Aguas de procesos y residuales/Miguel Rigola Lapeña/Marcombo 1989
- [10] Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas/José Mario Díaz Fernández/E. Paraninfo/2018