ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.342

Automated Data Monitoring System for Currency Validation Machines using ZigBee Technology and Neural Networks

Rosas Alexander[1]; Alfaro Anthony[2]
[1,2]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, *1212076@utp.edu.pe, c22020@utp.edu.pe*

***Abstract*— This article presents an automated monitoring system designed to enhance security and control in real-time banknote processing, aimed at identifying anomalies and suspicious activities. Data transmission is performed wirelessly through Xbee S2C modules with Zigbee technology, ensuring the integrity of information such as currency, denomination, serial number, quantity of pieces, rejects, and amounts in soles (Peruvian currency) and dollars. The system interface ensures real-time tracking, storage, and analysis of the recorded process. Furthermore, it predicts the lifespan of equipment and cash flow congestion in a banking agency using FeedForward neural networks. This system optimizes processes by analyzing usage patterns and processing times, providing an efficient and cost-effective solution for monitoring in banking agencies.**

***Keywords*— banknote validator equipment, Xbee module, ZigBee, FeedForward networks, mean squared error.**

Sistema de Monitoreo Automatizado de Datos de Equipos Valorizadores de Billetes mediante Tecnología ZigBee y Redes Neuronales

Rosas Alexander[1]; Alfaro Anthony[2]
[1,2]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, *1212076@utp.edu.pe, c22020@utp.edu.pe*

Resumen*— Este artículo presenta un sistema de monitoreo automatizado para mejorar la seguridad y el control en el procesamiento de billetes en tiempo real, diseñado para identificar anomalías y actividades sospechosas. La transferencia de datos se realiza de forma inalámbrica mediante módulos Xbee S2C con tecnología Zigbee, garantizando la integridad de la información sobre divisa, denominación, serie, cantidad de piezas, rechazos y montos en soles (moneda peruana) y dólares. La interfaz del sistema garantiza el seguimiento, almacenamiento y análisis del proceso registrado. Además, predice la vida útil de los equipos y el congestionamiento del flujo de efectivo en una agencia bancaria mediante redes neuronales FeedForward. Este sistema contribuye a optimizar los procesos mediante el análisis de patrones de uso y tiempos de procesamiento, proporcionando una solución eficiente y económica para el monitoreo en agencias bancarias.

***Palabras Clave*—equipo valorizador de billetes, módulo Xbee, ZigBee, redes FeedForward, error cuadrático medio.**

I. INTRODUCCIÓN

Diversos estudios determinan que las perdidas en la utilidad neta están relacionadas con los fraudes internos en el estado financiero en un 5% de los ingresos anuales de las organizaciones y en su mayor parte se debe a falta de controladores internos (51%) según los estudios llevados a cabo por la Association of Certified Fraud Examiners ACFE [1,2].

El monitoreo de equipos valorizadores de billetes en el arqueo de caja es un importante medio de control interno de efectivo y tratamiento contable. Este proceso reside en el análisis de transacciones del efectivo, durante un tiempo determinado, con el objeto de identificar errores en el proceso que ocasione faltantes en la cuenta respectiva [3].

El monitoreo es cada vez más importante y se aplica en diferentes industrias como la manufactura, la siderúrgica y también en la industria financiera; además que es una herramienta esencial que comprueba datos de los equipos conectados y busca señales de un error inminente [4]. Debido a esto, surge una necesidad de monitoreo de estos equipos a nivel nacional.

En el Perú, actualmente no se cuenta con el desarrollo de un sistema de monitoreo para equipos valorizadores de billetes, lo que obliga a entidades financieras del país a solicitar el servicio a corporaciones extranjeras, aumentando el costo de un sistema y dificulta su acceso. La empresa Giesecke & Devrient lanzó la plataforma Compass Banknote Intelligence en el banco central de Alemania, que permite capturar, almacenar, gestionar y analizar una considerable cantidad de datos de los billetes. El principal problema de la plataforma mencionada es el elevado costo que presenta para las diferentes entidades financieras en el Perú [5]. Se han realizado estudios de la problemática derivada del arqueo de caja en agencias bancarias, entre ellos, [6] donde proponen que la realización continua de verificaciones y evaluaciones independientes de los procesos y actividades de control que incrementará el retorno sobre los activos, la liquidez, la base de clientes, la calidad del servicio, la flexibilidad, la utilización de recursos y la innovación.

Desde una perspectiva tecnológica, se reconoce la importancia de diversificar los controles internos y aprovechar las herramientas para actualizar los registros contables. En este contexto, la supervisión de equipos valorizadores de billetes se presenta como una solución prometedora para gestionar el flujo de efectivo en las agencias bancarias.

Los sistemas de monitoreo se desarrollan para optimizar diferentes tipos de procesos. Entre ellos [7], que se basa en una red de sensores inalámbricos para gestionar un sistema de aire acondicionado, con el objetivo de optimizar el consumo energético mientras se mantiene el confort de los usuarios. En [8], utilizaron el internet de las cosas, para un sistema inteligente de monitorización de calidad del agua, midiendo parámetros de conductividad, pH, turbidez, temperatura y nivel de agua. Ambos sistemas con el objetivo de lograr una buena relación costo-beneficio. También existen investigaciones centradas en implementar diferentes interfaces para el sistema de monitoreo y control. Tales como [9], implementando una interfaz basada en web para la visualización y gestión de datos de una red de sensores para recopilar datos en tiempo real sobre parámetros cruciales para una agricultura inteligente y [10] logrando monitorear y controlar parámetros críticos en entornos industriales, utilizando una combinación de sensores y una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW, que brindará información necesaria a los usuarios, para que puedan realizar el análisis e interpretación correspondiente.

Por tal motivo, el objetivo principal de este estudio es determinar en qué medida el desarrollo de un sistema

automatizado optimiza los procesos de flujo de efectivo y la vida útil de los equipos valorizadores de billetes utilizando tecnología Zigbee y redes neuronales. Para lograr esto, se diseñará un prototipo para el monitoreo, con el fin de determinar las capacidades técnicas y contables del sistema de automatización de los equipos valorizadores de billetes. Finalmente, se evaluará la exactitud del sistema en una situación de trabajo en tiempo real.

La organización del documento es la siguiente. Sección II describe los estudios relacionados. Sección III incluye la descripción de la adquisición de datos y la aplicación de redes neuronales en el estudio. Los resultados y discusiones se explican en la Sección IV, y en la Sección V se concluyen los estudios.

II. Estudios existentes

La problemática derivada del arqueo de caja en agencias bancarias ha sido estudiada en [11], la cual hace una observación del procedimiento de arqueo de caja, donde evidenció faltantes. La problemática ha sido abordada de forma teórica, sin considerar la automatización de procesos para el monitoreo en agencias bancarias.

El monitoreo es una herramienta fundamental para verificar el avance y el cumplimiento de metas, y nos brinda instrumentos para evaluar la eficiencia y eficacia con la cual se llevan a cabo las actividades para alcanzar los objetivos [12]. Los sistemas de monitoreo son desarrollados para optimizar diferentes tipos de procesos. Para ello, en [13] se implementó un sistema de monitoreo remoto para datos ambientales utilizando sensores conectados a un microcontrolador Arduino, que transmite los datos a la plataforma ThingSpeak, logrando almacenar, visualizar y analizar los datos recopilados por los sensores, proporcionando gráficos interactivos y canales públicos o privados para compartir los datos.

También en [10] se diseñó un sistema automático para monitorear, supervisar y controlar los parámetros, como la temperatura, la presión y la calidad de aire. Este sistema utiliza la interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada en LabVIEW, que permite a los usuarios visualizar los datos de sensores en tiempo real, generar gráficos y recibir alertas. Esta herramienta ayuda a los operadores industriales a tomar decisiones informadas de forma rápida.

Por otro lado, en los últimos años, las redes neuronales profundas han demostrado resultados sobresalientes en diversas tareas. En [14] se implementan técnicas de inteligencia artificial aplicada al campo de la detección de errores y diagnóstico de fallas en sistemas dinámicos.

Teniendo en cuenta el material recopilado, se puede ver que las investigaciones realizadas sobre los sistemas de monitoreo son en base a que las empresas que proporcionan tecnologías de monitoreo utilizan equipos importados con amplias funcionalidades, los costos son muy elevados, por ello las investigaciones optan por desarrollar un sistema costo-beneficio. El siguiente trabajo de investigación se orienta a lograr resultados similares utilizando estrategias actuales basados en el monitoreo de equipos valorizadores de billetes.

III. Metodología

Este estudio se centra en el monitoreo de datos de los billetes valorizados por equipos valorizadores de billetes Masterworks Automodules NC-6500 de forma inalámbrica. Una breve explicación de la metodología se describe en la Fig. 1.

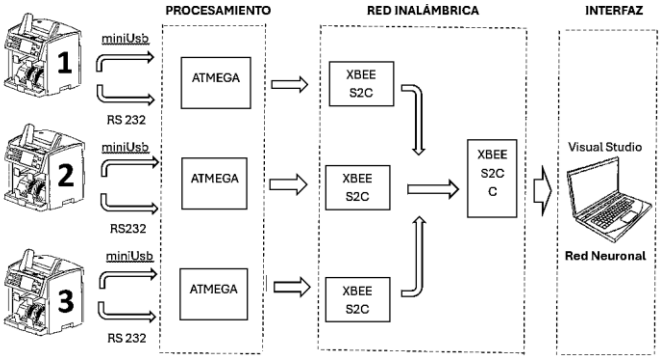

Fig. 1. Principio del trabajo propuesto.

Como se describe en la Fig.1, la primera etapa del estudio es la del procesamiento de datos de cada billete valorizado por el equipo NC-6500. Luego, los datos procesados son enviados de forma inalámbrica por medio del módulo Xbee S2C End Device y del módulo Xbee S2C Coordinator. Los datos extraídos y recibidos del módulo inalámbrico son visualizados en el interfaz realizado en Visual Studio, ya realizado estos procesos, se añade redes neuronales para la predicción de "Vida útil del equipo" y "Congestionamiento", también llamado cuello de botella. Este estudio se centra en los datos de cada billete valorizado, trasmisión de datos y visualización en una interfaz que pueden ser útiles para la optimización del procesamiento de billetes. La detallada explicación del preprocesamiento de los datos, red inalámbrica de transmisión de los datos, y visualización en la interfaz son como sigue.

A. Procesamiento de Datos

Las valorizadoras de billetes son equipos avanzados que detectan todos los parámetros de seguridad de un billete, incluyendo su imagen completa. Estos equipos son capaces de reconocer el billete procesado, contabilizarlo y separarlo según su moneda y denominación. Además, descartan billetes sospechosos o falsificaciones [15].

Fig. 2. Puertos de comunicación del equipo NC-6500 [15].

Este equipo envía la información de cada billetes a través de dos principales puertos de comunicación del equipo: Puerto serial RS-232 y puerto mini-USB.

El protocolo de comunicación RS-232 es un estándar de comunicación serial que especifica aspectos mecánicos y eléctricos, El protocolo asume que tanto el transmisor como el receptor están configurados de manera idéntica, es decir, siguen las mismas definiciones para los bits de inicio, parada y datos. Ambos dispositivos, es decir, el transmisor y el receptor, deben comunicarse a una velocidad de datos acordada (velocidad en baudios), 9600 baudios en este caso [17].

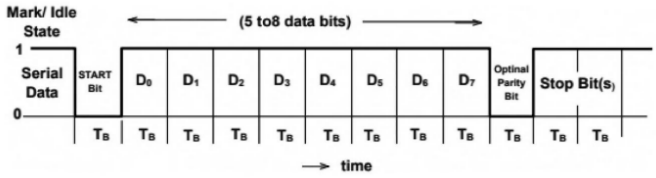

Fig. 3. Protocolo RS-232: Trama [17].

El protocolo USB utiliza una arquitectura serial. Pero ofrece una velocidad entrada/salida superior a los puertos seriales tradicionales. Es un estándar industrial que se define las especificaciones para cables, conectores y protocolos, permitiendo la conexión, comunicación y suministro de energía entre computadoras personales y sus dispositivos periféricos. [17].

La data enviada por los puertos de comunicación, tienen que ser procesados para su decodificación, tratamiento y unión de las tramas de los distintos protocolos, para lograrlo, se empleó el entorno de desarrollo Arduino.

Una ventaja del Arduino IDE es que facilita la creación de funciones complejas, permitiendo una mayor abstracción del código. La tecnología Arduino ofrece un sistema de computación que integra directamente las áreas de hardware y software para el diseño e implementación de soluciones. Actualmente, Arduino es una empresa de código y hardware abierto que facilita el acceso y uso combinado de la electrónica y la computación para el desarrollo de sistemas [18].

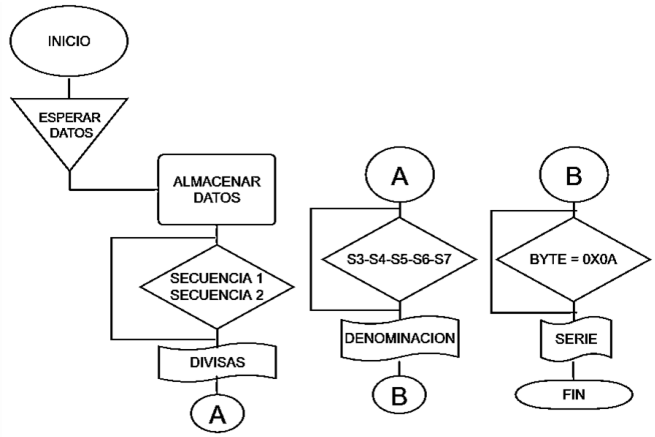

Fig. 4. Diagrama de flujo del proceso de datos RS-232.

El programa para procesar la información a través del protocolo RS-232 se describe en la Fig. 4. Este programa espera recibir los datos desde RS-232 a una velocidad de transmisión de 9600 baudios. Una vez recibido los datos de 234 o 235 bytes, dependiendo de la divisa a valorizar, lo almacena en un buffer de 100 bytes, lo cual realiza la búsqueda de secuencias de 5 bytes cada una, al encontrar la secuencia **1.** 0x03F, 0xFC, 0x00, 0x20, 0x00 y **2.** 0x00, 0x20, 0x04, 0x00, 0x1F, muestra las divisas del billete valorizado, luego al encontrar la secuencia **3.** 0x00, 0x0E 0x20, 0x00, 0x74, **4.** 0x020, 0x0E, 0x20, 0x10, 0x00, 0x1F, **5.** 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x08, **6.** 0x00, 0x10, 0x08, 0x00, 0x20 y **7.** 0x40, 0x20, 0x10, 0x00, 0x1F, cada secuencia representa los números 5, 0, 1, 2, 0 0, respectivamente, lo cual muestra las unidades, decenas y centenas de cada denominación del billete. Por último, al encontrar el byte 0x0A, lo cual determina el fin de los datos enviados por cada billete, almacena 9 o 10 bytes anterior a 0x0A, dependiendo de la divisa valorizada, se muestra la serie del billete.

Para transmitir los datos del puerto serial del equipo al microcontrolador Arduino, se emplea el integrado MAX232. Este componente es esencial para la comunicación serial entre el equipo valorizador de billetes y el Arduino, ya que ambos operan con diferentes niveles de voltaje.

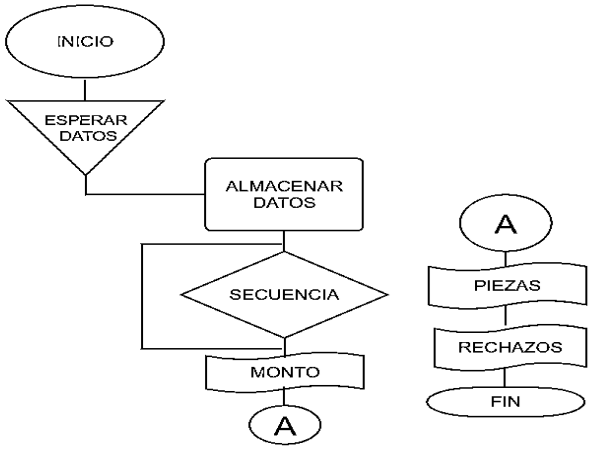

Fig. 5. Diagrama de flujo: Proceso de datos miniUSB.

En la Fig. 5 se presenta el diagrama de flujo del proceso de datos miniUSB. Este diagrama explica cómo se obtiene la información desde el puerto mini-USB a una velocidad de transmisión de 115200 baudios. Una vez recibidos los datos de 18 bytes, se busca la secuencia 0x0FF, 0x0FF, 0x81, 0x08, 0x08. Se almacenan 6 bytes antes de la secuencia y 2 bytes después de la secuencia. De los 6 bytes, los primeros 4 bytes muestran los montos sumados de cada billete valorizado, los siguientes 2 bytes indican la cantidad de piezas, y los 2 bytes posteriores a la secuencia muestran la cantidad de piezas rechazadas.

Para unificar datos provenientes de dos fuentes con diferentes velocidades de transmisión, se utilizó un Arduino Mega debido a su capacidad para manejar múltiples puertos seriales. Esto permitió programar dos puertos con diferentes velocidades de baudios y enviar los datos unificados a través de otro puerto serial configurado a 9600 baudios, para posteriormente transmitirlos de forma inalámbrica.

B. Transmisión Inalámbrica

Los Xbee, fabricados por Digi, son dispositivos compactos que utilizan radiofrecuencia para transmitir y recibir datos. Son de alta configurabilidad y compatibilidad con varios protocolos permiten elegir la tecnología más adecuada para cada aplicación [19].

Fig. 6. Dispositivo Xbee [19].

Transparente (AT), es un protocolo que define como se intercambia la información. La comunicación se envía directamente a través de la red inalámbrica y viceversa. Este modo facilita la construcción de redes más amplias y es ideal para crear redes que recolectan datos de múltiples nodos[19].

La topología de malla Zigbee incluye un coordinador y varios enrutadores y dispositivos finales. Un enrutador puede conectarse a uno o más enrutadores y dispositivos finales. Las reglas de comunicación en una topología de malla son flexibles, ya que los enrutadores dentro del alcance pueden comunicarse directamente entre sí. [20].

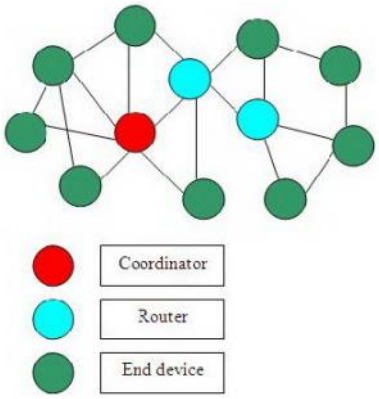

Fig. 7 Red de los módulos Xbee [20].

Los datos ya procesados y codificados son enviados de forma alámbrica al módulo Xbee end device, luego es transmitida de forma inalámbrica al módulo Xbee coordinator, logrando una red mesh para la transmisión de datos de varios equipos valorizadoras de billetes y por último estos datos serán visualizados en la interfaz Visual Studio.

Para lograr una red multipunto en modo transparente, se debe de incluir un identificador en lo datos enviados, para ello, se añade prefijos únicos junto a los datos que se tienen que enviar, prefijos con nombres de: equipo1, equipo2, equipo3, y así sucesivamente, logrando recibir información de múltiples dispositivos finales, evitando colisión y pérdida de datos.

Los datos enviados con los prefijos definidos son recibido por el Arduino Uno, este está encargado de realizar la recepción, limpieza de los datos, integrando códigos de eliminación de espacios en blanco y saltos de línea. También se encarga de la conexión con la PC, enviando los datos depurados a la interfaz de Visual Studio.

C. Interfaz

Visual Studio es un software que proporciona un depurador y un editor de código, herramientas para la autocomprobación de código, un entorno moderno con interfaces gráficas, y funciones que simplifican el control del código fuente y el proceso de desarrollo [21].

Dentro de ese entorno, está incluida la interfaz gráfica de usuario (GUI), Windows Forms. El desarrollo del aplicativo para PC,se realiza en lenguaje de programación Python.

Fig. 8. Entorno Visual Studio.

Según lo ilustrado en la Fig. 8, se tiene una interfaz para la visualización de los datos finales y principales para el monitoreo de los equipos valorizadores de billetes. En primera instancia se tiene que lograr la comunicación entre la PC y el equipo, para ello se tienen dos botones: Buscar Puertos y Conectar. El primero realiza la búsqueda de puertos COM conectados a la PC, luego se procede a buscar en el cuadro de selección el puerto a usar. El segundo, permite realizar la conexión, dando click en "conectar".

Por otro lado, se visualiza cuadros de textos, la cantidad de cuadros de textos está determinada por la cantidad de equipos que existen dentro de la agencia bancaria (un cuadro de texto por equipo). Estos cuadros de textos proyectan los datos ya procesados, como divisa, serie y denominación del billete valorizado, también la cantidad de piezas, rechazos y monto en soles o dólares. Añadiendo la fecha y hora exacta de cada billete procesado. Dentro del desarrollo de la interfaz en Visual Studio, se ejecutará archivos .CSV.

Los archivos .CSV (Comma-Separated Values) almacenan datos en formato de tabla, lo cual resulta muy útil para este estudio. Los datos proyectados en los cuadros de texto, además de ser visualizados, también se almacenan en un archivo .csv, que sirve como base de datos para toda la información obtenida de cada billete valorizado por el equipo. Asimismo, se añade la fecha y hora de cada billete procesado. El tiempo de valorización de cada billete se obtiene mediante un buffer interno en el

desarrollo de la interfaz. Dentro de este buffer se almacena la información recibida y se realiza una búsqueda de la palabra "Divisa". Una vez encontrada, el tiempo se imprime antes de la palabra. Este arreglo se utiliza tanto para la proyección como para la base de datos.

A partir de los datos recibidos, se analiza la información y los tiempos de procesamiento para mejorar la eficiencia, identificando la vida útil de los equipos y el congestionamiento del flujo de efectivo en la agencia bancaria. Para ello, se desarrollaron dos redes neuronales en Visual Studio Code, utilizando el lenguaje de programación Python.

La primera red neuronal proporciona la vida útil del equipo valorizador de billetes. La base de datos utilizada para el entrenamiento se obtiene del Sistema Dakota y contiene 100 características de piezas, tiempo en años y ubicación por zonas (norte, sur, este, oeste y centro). Los valores de las piezas se multiplican por 0.000001, el tiempo por 0.1 y se asignan valores a las ubicaciones: 0 para norte, 1 para sur, 2 para este, 3 para oeste y 4 para centro. Esto facilita el entrenamiento de la red, evitando el uso de valores altos como millones. Los resultados de la vida útil del equipo se definen por los siguientes valores: 0 para muy corta, 1 para corta, 2 para media y 3 para larga; estos resultados se basan en la vida útil real observada de los equipos en el pasado.

Dentro del desarrollo de visual studio code, se importan librerías como Tensorflow y Keras, para seleccionar el modelo de aprendizaje y la librería Pandas para leer archivos .csv, de la base de datos se realiza un arreglo para dividir los datos en conjunto de 80% entrenamiento y 20% pruebas. Se crea un modelo de entrenamiento secuencial con tres capas Densas: la primera con 16 neuronas, la segunda con 8 neuronas y la tercera con 1 neurona. Este modelo es adecuado para redes FeedForward, donde la información fluye en una sola dirección. Tener una capa densa significa que cada neurona de la capa está conectada a todas las neuronas de la capa anterior. También se agrega la función de activación ReLu (Rectified Linear Unit) en la primera y la segunda capa, lo cual ayuda a mitigar el problema de desvanecimiento de gradiente, en la tercera capa se agrega la función de activación Lineal, que es adecuada para la capa de salida en problemas de regresión. Se entrena el modelo con los datos de entrenamiento durante 350 épocas, con un tamaño de lote de 10, que es el número de muestras por actualización de gradientes, y una división de validación del 20%.

La segunda red neuronal nos brinda el congestionamiento o tráfico del flujo de efectivo de los equipos valorizadores de billetes. El contenido en la base de datos del sistema Dakota, es de 20 características de piezas, tiempo en días y cantidad de equipos dentro de una agencia bancaria. Los valores de piezas se multiplican por 0.000001, tiempo por 0.01. Los resultados se definen por valores: 1 flujo estable, 2 flujo inestable. Dentro del desarrollo primero se divide los datos en dos conjuntos: Entrenamiento y prueba, asignando 80% y 20% respectivamente, se añade un generador de números aleatorios para que los resultados sean repetibles y comparables. Se estandariza las características eliminando la media y escalando a la varianza unitaria, por medio de la fórmula matemática de estandarización [23].

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \qquad (1)$$

En la ecuación (1), se define la estandarización, donde Z es el valor estandarizado, x es el valor original, μ es la media del conjunto de datos y σ es la desviación estándar. La estandarización de las características dadas para el entrenamiento se obtiene de la librería Sklearn, importando standard scaler, ayudando a mejorar las convergencias de las gradientes.

Luego se crea el modelo secuencial, añadiendo 16 neuronas en la primera capa densa, 8 neuronas en la segunda capa densa, 4 neuronas en la tercera capa densa, con activación ReLu en estas tres capas y 1 neurona en la capa de salida, con activación Lineal, adecuada para problemas de regresión. También se crea un optimizador Adam (adaptative Moment Estimation) con una taza de aprendizaje de 0.001, se está configurando un optimizador que ajustará los pesos de la red neuronal, ayudando a encontrar el mínimo de la función de pérdida de manera efectiva. Se entrena el modelo con los datos de entrenamiento durante 250 épocas, con un tamaño de lote de 3 y una división de validación del 5%.

IV. RESULTADOS

A. Visualización en la interfaz

Tras la adquisición y procesamiento de los datos realizado por el Arduino Mega, se logra tener la información brindada por los equipos. Estos datos son enviados de forma inalámbrica por el Xbee end device, y recibido por el Xbee Coordinator, estos datos recibidos son procesado por Arduino Uno, para su correcta depuración.

En la interfaz Visual Studio se implementa la opción del botón de buscar puerto seriales, si no encuentra ningún puerto serial, se muestra en pantalla una alerta indicando “ningún puerto”, tal como se muestra en la Fig. 9.

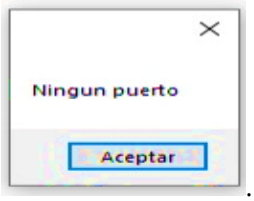

Fig. 9. Alerta de ningún puerto encontrado.

Al lograr encontrar puertos seriales, muestra en pantalla una alerta indicando “seleccionar puerto”, muestra la lista de todos los puertos encontrados y se podrá presionar el botón de “conectar”, mostrado en Fig. 10.

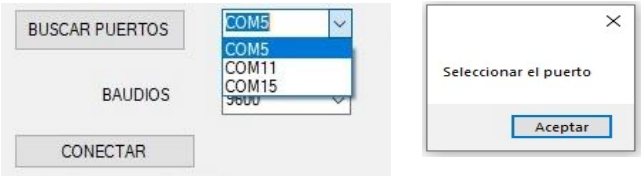

Fig. 10. Alerta de seleccionar puerto y puertos encontrados.

Con la conexión ya establecida entre la interfaz y los equipos, se puede visualizar los datos en la interfaz. Para el monitoreo de los datos de cada equipo en los cuadros de textos correspondiente,

se realiza el proceso de búsqueda de los prefijos recibidos por cada dato y se deriva al cuadro de texto definido por las series del equipo valorizador de billetes.

Fig. 11. Interfaz realizada en Visual Studio.

En la Fig. 11, se puede notar que debajo de los cuadros de textos, existen casillas donde se puede visualizar los contadores correctos de los billetes valorizados por cada equipo. Las casillas te muestran: Contador de rechazo, de piezas, de denominaciones tanto en soles como en dólares, por equipo. También, a lado izquierdo de los cuadros de textos existen casillas donde se visualiza el contador total de rechazos, de piezas, la suma total de ambas, que vendría ser contador total, contador total de las denominaciones de soles y dólares, que vendría ser la suma total de ambos equipos.

B. Entrenamiento del modelo

Antes de determinar el modelo de la red, se realiza una comparativa para el uso de la red FeedForward, a cada capa densa se incorpora una capa Dropout que inhabilita de manera aleatoria el 50% de las neuronas en cada iteración de entrenamiento. Durante el entrenamiento, esta red neuronal se comporta de manera diferente en cada iteración debido a la desactivación aleatoria de neuronas, no obteniendo resultados satisfactorios, como se observa en la parte superior de la Fig. 12 y en la parte inferior se muestra sin el uso del Dropout.

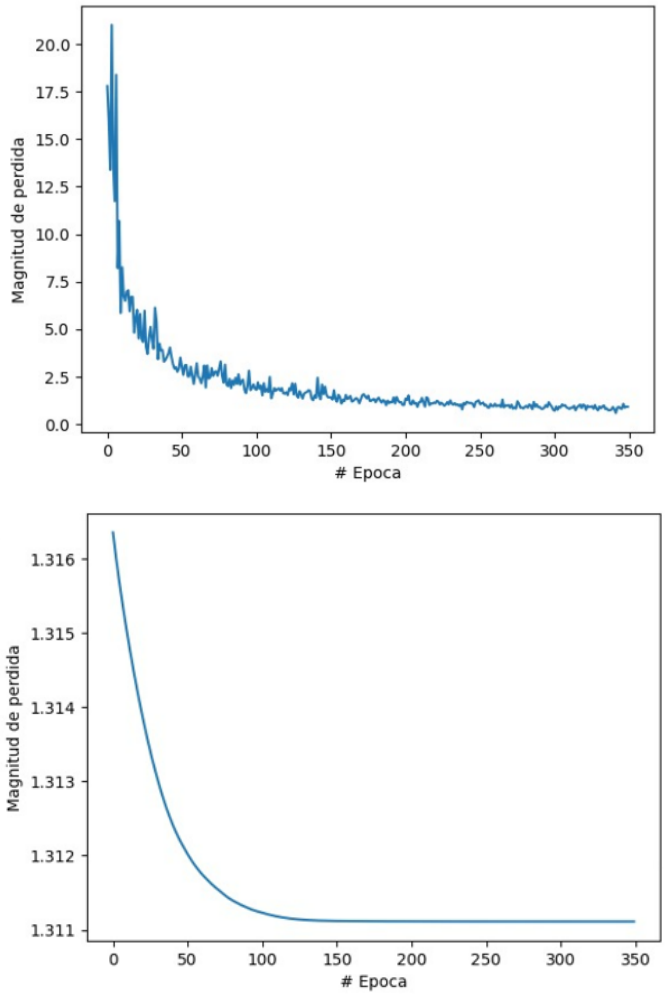

Fig. 12. Comparación del entrenamiento con y sin Dropout.

Estas curvas de aprendizaje corresponden al entrenamiento de los modelos de la red neuronal, de acuerdo con ello, se determina la utilización de la red FeedForward con capas densas, obteniendo resultados favorables, como se muestran en Fig. 13.

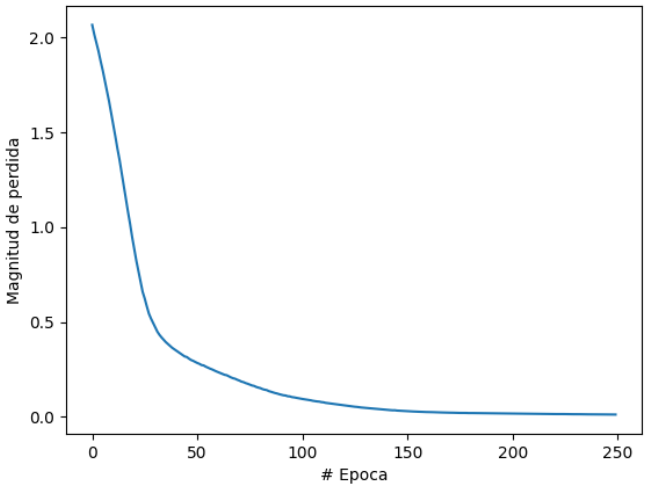

Fig. 13. Cambio de la pérdida del modelo a lo largo de las épocas – Segundo entrenamiento.

C. Validación del modelo

Se utiliza métricas para evaluar el rendimiento del modelo, como en la ecuación (2), que busca evaluar la precisión del modelo predictivo por medio de la fórmula matemática del error cuadrático medio (MSE) [22], donde yi son los valores observados, ŷi son valores predichos, n es el número de observaciones.

$$ECM = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \qquad (2)$$

Esta fórmula se obtiene importando la librería sklearn.metrics en Python. Un ECM reducido, sugiere que el modelo de entrenamiento se ajusta mejor a los datos.

Cada información de divisa, serie, denominación, monto, rechazos y piezas que son visualizados en los cuadros de textos, serán almacenados en un archivo .csv, que sirve como base de datos de toda la información brindada por los equipos.

La información de cantidad de piezas contadas por el equipo, tiempo en años y ubicaciones del equipo por zonas (sur, norte, este, oeste y centro), serán beneficiosos para la predicción de la vida útil del equipo. Al realizar la predicción con los datos nuevos y reales, te muestra en pantalla una alerta de la predicción realizada, como se muestra en la Fig. 15. Para verificar el correcto entrenamiento de la red, se realiza pruebas, en base a los datos reales históricos obtenidos del sistema Dakota, donde se refleja las características, condiciones y vida útil real observada en equipos similares en el pasado, y así comparamos los datos reales con las predicciones de la red ya entrenada. Logrando un valor de predicción de 1.1917, cuando el valor real es 1 (corta), como indica la Fig. 14.

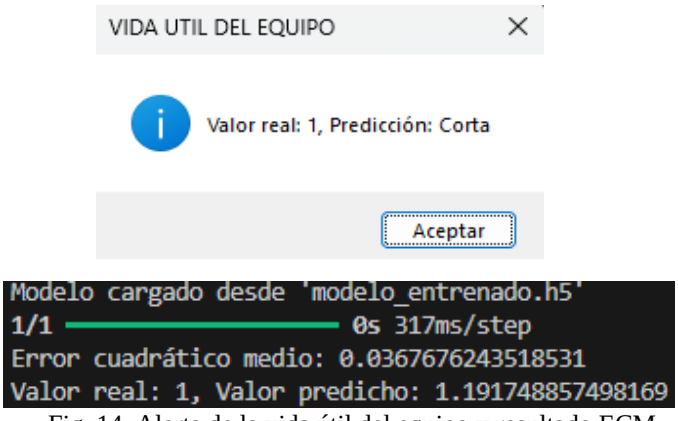

Fig. 14. Alerta de la vida útil del equipo y resultado ECM.

Por otro lado, la información de cantidad de piezas contadas por el equipo, tiempo en días y cantidad de equipos dentro de la agencia bancaria, serán beneficiosos para la predicción del congestionamiento del flujo de efectivo. Al realizar pruebas con datos reales observados en equipos similares en el pasado obtenidos del sistema Dakota, y comparar los datos reales con las predicciones de la red ya entrenada. Se logra un valor de predicción de 2.4912, cuando el valor real es 2 (inestable) y un ECM de 0.241. También te muestra en pantalla una alerta de la predicción realizada, como se muestra en la Fig. 15.

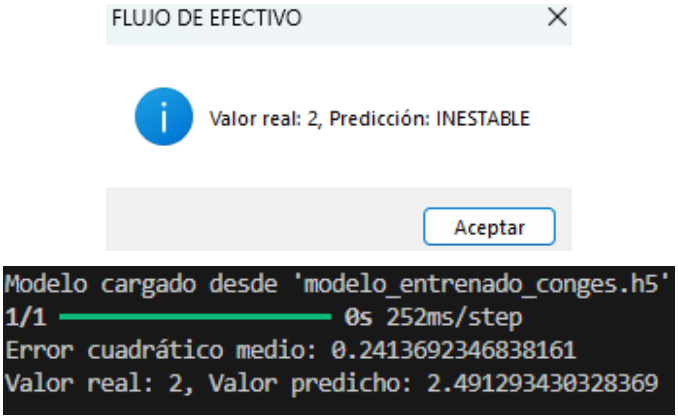

Fig. 15. Alerta del flujo de efectivo y resultado ECM.

También se utiliza el error cuadrático absoluto (MAE), como métrica para evaluar el rendimiento del modelo, lo cual calcula el promedio de los errores absolutos entre las predicciones y los valores reales, es fácil de interpretar y muestra el error en las mismas unidades que los datos. Obteniendo resultados mostrados en Fig. 16, que corresponde al modelo de red de vida útil del equipo.

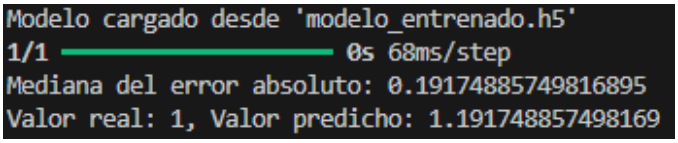

Fig. 16. Resultado MAE.

En Fig. 17, se ingresa los datos de ubicación, sea: Norte, Sur, Este, Oeste, Centro, también se ingresa información de la cantidad de piezas que registra el propio equipo antes de la conexión con la interfaz y el tiempo en años del equipo. Todos estos datos para realizar de forma manual la predicción de la vida útil de cada equipo. Por otro lado, también la de "culminación del día" (aproximadamente 1 valor) para realizar de forma manual la predicción del congestionamiento de flujo de efectivo, para ello, los datos ya están ingresado de forma automática, realizando la sumatoria de todos los equipos conectados, para la realización de la predicción del congestionamiento de flujo de efectivo.

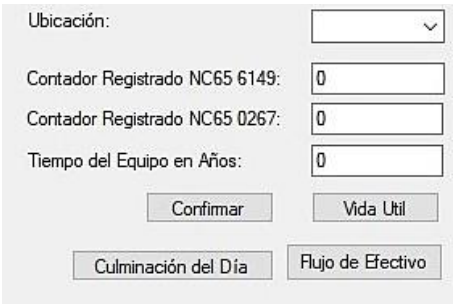

Fig. 17. Botón de predicciones.

Estas predicciones no tan solo se pueden realizar de forma manual con los botones mencionados y visualizados en la

interfaz, también se programa la ejecución del script de Python desde símbolo del sistema CMD a una fecha y hora especifica, utilizando el programador de tareas de Windows. Donde se puede evaluar de forma mensual o anual la vida útil del equipo y de forma diaria, semanal, mensual y anual el congestionamiento o también llamado cuello de botella dentro de una agencia de banca comercial, como se muestra en la Fig. 18.

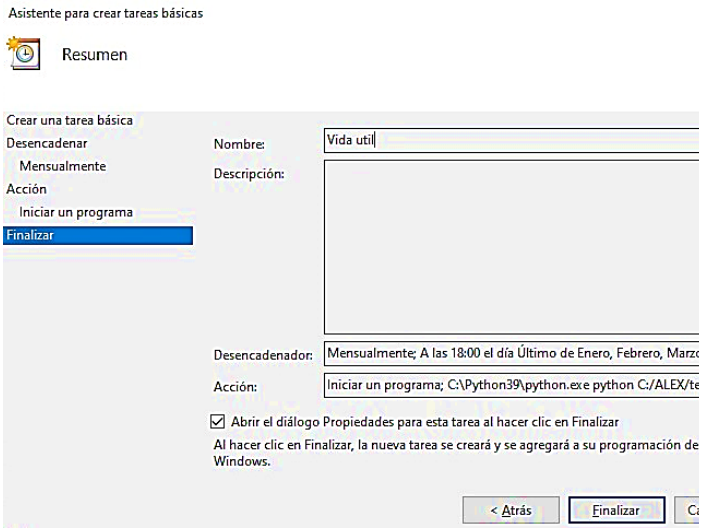

Fig. 18. Uso de programador de tareas de windows.

V. CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se elaboró un sistema de monitoreo automatizado de datos en el procesamiento de billetes de equipos valorizadores, atreves de software especializados y de la implementación de redes neuronales predictivas, el sistema de automatización, diseñado e implementado garantiza:

-Monitorización y control de información de cada billete procesado por el equipo valorizador de billetes.

-Visualización y almacenamiento de cada dato que brinda la interfaz en tiempo real.

-Comunicación inalámbrica sin pérdida de información, mediante tecnología ZigBee con módulos Xbee S2C.

-Predicciones precisas de vida útil de los equipos y del congestionamiento del flujo de efectivo, mediante redes neuronales FeedForward, tanto de forma automática por medio del programador de tareas de Windows, como manual a través de la interfaz.

-La conexión entre los equipos valorizadores de billetes, módulos Xbee S2C y PC, garantiza tanto la monitorización, el almacenamiento, el análisis y las predicciones en base a la información en el procesamiento de billetes en tiempo real.

REFERENCIAS

[1] PERÚ Superintendencia de Banca y Seguros [Internet]. [cited 2023 Dic 31]. Available from: https://www.sbs.gob.pe/

[2] Association of Certified Fraud Examiners [Internet]. [cited 2024 Abr 02]. Available from: www.acfe.com

[3] Ministerio de Economía y Finanzas. Manual de procedimientos contables para el sector gubernamental no financiero del Perú. (2012 Nov 29

[4] Ixon. Monitoreo de estado de maquina: Beneficios y Soluciones. (2020 Nov 09). Available from: https://www.ixon.cloud/es/base-de-conocimientos/monitoreo-de-estado-de-m%C3%A1quina-beneficios-y-soluciones

[5] Giesecke & Devrient. Compass Banknote Intelligence. (2023). Available from: www.gi-de.com

[6] I. Otoo, S. Asumah, G. Preprah, T. Andzie, “Impact of Internal Control Systems on Performance of Universal Banks: Evidence from Ghana”, Journal of Financial Risk Management, vol 13 (4), pp. 473-486, 2021.

[7] Y. Tachwali, H. Refai, and J. E. Fagan, "Minimizing HVAC energy consumption using a wireless sensor network," in Proc. 33rd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc. (IECON), Taipei, Taiwan, Nov. 2007, pp. 439-444.

[8] M. Uddin, T. Emran, S. Ghosh, A. Pathak, M. Alam, N. Absar, K. Andersson, M. Hossain, “IoT Based Real-time River Water Quality Monitoring System”, Procedia Computer Science, vol 155, pp. 161-168, 2019.

[9] A. Kumar, S. Sharma, y R. Singh, "Design and Implementation of IoT-based Monitoring System for Smart Agriculture," Journal of Agricultural Informatics, vol. 14, no. 3, pp. 123-135, 2023.

[10] K. Tyagi, A. Khan, A. Pal, y D. Gaur, "Industrial Pollution Monitoring System Using LabVIEW and GSM," International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, vol. 12, no. 4, pp. 123-130, 2024.

[11] Jeanina SG. Manejo Adecuado de Arque de Caja como un Mecanismo del Control Intreno de la Empresa Superxis S.A de año 2017. Tesis. Facultad Contabilidad y Auditoría. UTMACH, Machala, Ecuador, 2018.

[12] Yesenia RP. Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo para un Máquina universal de Ensayo. Tesis. Facultad de Ciencias e Ingeniería. PUCP, Lima, Perú, 2020.

[13] R. Deekshath, P. Dharanya, K. R. Dimpil Kabadia, G. Deepak Dinakaran, and S. Shanthini, "Design and Deployment of a Remote Monitoring System for Environmental Data Using Arduino and ThingSpeak," IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering, vol. 4, no. 9, pp. 123-128, Mar. 2018

[14] Diseño e Implementación de un Sistema de Diagnóstico de Fallas para la Inspección y Detección de Fallas en Componentes de Procesos Industriales utilizando un Robot Móvil y Algoritmos de Iteligencia Artifical. Facultad de Ingenieria de Control y Automatización. PUCP, Lima, Perú, 2020.

[15] AccuBanker. Valorizadoras de Billetes. (2023 Feb 15). Available from: www.accubanker.mx

[16] Masterworks Automodules. Valorizadoras de Billetes. (2024). Available from: www.automodules.com

[17] H. C. Yang and M. Q. Wu, "NC Processing Network Platform RS-232-C Interface Circuit Design," Advanced Materials Research, vol. 529, pp. 29-34, 2012.

[18] D. Jones, “Arduino: Simple and Effective Strategies to Learn Arduino Programming (Volume 3)”, 3rd ed., USA: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017

[19] I. F. Akyildiz and X. Wang, *Wireless Mesh Networks*, 1st ed., USA: Wiley, 2009.

[20] V. Mayalarp, N. Limpaswadpaisarn, T. Poombansao, and S. Kittipiyakul, "Wireless Mesh Networking with XBee," School of Information, Computer, and Communication Technology, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Pathumthani, Thailand, Aug. 2009.

[21] J. Sharp, “Windows Forms Programming in C#”, 1st ed., USA: Microsoft Press, 2004.

[22] Juan VH. Acotación del Error de Modelos de Redes Neuronales Aplicados al Pronóstico de Series de Tiempo. Facultad de Ingenieria de Sistemas. UNC, Bogota, Colombia, 2011.

Keilo RJ. Ciencia de Datos para Ciencias Naturales (2022). Available. https://bookdown.org/keilor_rojas/CienciaDatos/