

REVISTA TEINNOVA

UNA MIRADA DE INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN

5^{TA}
EDICIÓN

Centro de Diseño e
Innovación Tecnológica
Industrial Regional
Risaralda

ISSN: 2500 - 7211



PÁGINA LEGAL

COMITÉ CIENTIFICO

Doctor en Física. Ing. Andrés Arias Durán, andres.arias.duran@correounivalle.edu.co

MSc.Lic . Aurora Sofia Redondo Ramírez, aredondo@sena.edu.co

MSc.Ing. Blanca Inés Martínez López, blancainesm8@gmail.com

MSc.Ing industrial. Juan Carlos García Buitrago, jcgarciab@misena.edu.co

MSc.Ing. Lesli Biviana Acosta Agudelo, bivianaacosta42@gmail.com

Doctora en Física. Ing., Lina María Franco, Ariaslmfrancoa@sena.edu.co

MSc.Ing. Martha Elizabeth Cortés Rico, mcortesrico@misena.edu.co

COMITÉ EVALUADOR

Ing. Breyner Stevens Largo Arboleda
SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial.

Msc, Ing mecanico Camilo Alejandro García Espinosa
Universidad de Manizales

Ing. Carlos Arturo Blandón Jaramillo
Confamiliares.

Ing. Carlos Enrique Posso Sabogal
Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI.

MSc. Cinthya López
Colegio de profesionales en informática y computación, Costa Rica.

Ing. Diego Marín Cano
Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

MSc. Gustavo Adolfo Montés Bedoya
Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

Ing. Jorge Eliecer Loaiza Muñoz
Universidad Tecnológica de Pereira.

MSc.Ing. Lesli Biviana Acosta Agudelo
SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial.

MSc.Ing de sistemas. Lucero Trujillo Casallas
Universidad del Meta.

Msc. María Franco Arias
phD-Tecnoacademia – Nodo Pereira.

MSc. Obeth Hernán Romero Ocampo
Universidad del Meta.

AUTORIDADES ACADEMICAS

Carlos Mario Estrada Molina
Director General Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Haiden de Jesús Castillo
Director Regional Risaralda Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

Oscar Alberto Sánchez López
Subdirector SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI

DISEÑO EDITORIAL

Ing. Carlos Andrés Cortés, Instructor SENA.

Diseñadora gráfica. Alejandra María Henao, Instructora SENA.

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial – CDITI, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

CORRECCIÓN AL INGLÉS

Profesional Juan David Mendieta, Instructor SENA de Bilingüismo.

GRUPO APOYO EDITORIAL

Aprendiz Kerly Yulieth González Suárez.

Aprendiz Valentina Celis López.

CONTENIDO

Diseño de una Planta Piloto para Extracción de Metabolitos Naturales (Antioxidantes) a Partir de Tomate Chonto	6
Sistema de Información para el AGRO colombiano	19
Implementación de un prototipo de interfaz humana de interacción no oyente-oyente para el apoyo en los procesos formativos en el centro de diseño e innovación tecnológica industrial	26
Desarrollo de un gemelo digital de una fábrica de refrescos	40
Diseño de la estrategia de control para el ácido sulfhídrico (H_2S) contenido en el biogás en una torre de filtración	57
Los protocolos de comunicación, una base para la digitalización de procesos industriales	69
Pronóstico de demanda de energía eléctrica usando procesos gaussianos: un análisis comparativo	85
Impacto de los kpis en los procesos productivos de la industria	100
Certificados digitales con tecnologías blockchain que controlan el plagio e incentivan la autenticidad del arte electrónico en el mercado digital	110

EDITORIAL



**JUAN CARLOS
GARCIA BUITRAGO**

Dinamizador SENNOVA

En medio de una tribulación social en plena pandemia, donde el nacer y el morir se miran a los ojos de una manera cercana, en un país convulsionado por las desigualdades, las injusticias, las opulencias y un sofocamiento político que solo alimenta los intereses de unos cuantos, florecen las ideas a través del ejercicio escritural plasmado en la divulgación del conocimiento y la revista TEINNOVA una mirada de innovación; hace su aporte desde la institucionalidad del SENA, con su quinta edición, un esfuerzo de actores silenciosos desde los mismos escritores quien colocan a consideración sus trabajos científicos y académicos, pasando por la rigurosidad de los evaluadores nacionales e internacionales, el comité científico y editor, hacen posible que se presente ante la sociedad del conocimiento esta nueva edición.

Bajo un carácter multidisciplinar y alineados con las líneas tecnológicas del SENA, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica

Industrial, Regional Risaralda. Los artículos aquí presentados soportan rigurosidad científica y contribuye al Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico SENNOVA.

La investigación aplicada como soporte a la formación profesional integral y como medula de los programas de formación que imparte el SENA, en educación superior permiten que la gestión del conocimiento se convierta en uno de los activos intangibles de la entidad y que dinamiza las nuevas habilidades que demanda el sector industrial de nuestros aprendices, de ahí la importancia de reconocer que bajo la escritura se gestionan nuevos conocimientos y aportes al tejido social.



DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EXTRACCIÓN DE METABOLITOS NATURALES (ANTIOXIDANTES) A PARTIR DE TOMATE CHONTO

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó una comparación a partir de la revisión teórica y una simulación en el programa súper pro designer, de dos métodos para la extracción de metabolitos, para el diseño de una planta piloto. Los métodos comparados fueron la extracción con disolventes orgánicos y la extracción por fluidos supercríticos. Según lo encontrado en el estado del arte para ambos métodos se decidió tomar como referente la extracción por fluidos supercríticos con CO₂ para la extracción de licopeno del tomate chonto en vista de las ventajas en el proceso respecto al método de extracción con solventes orgánico. Teóricamente se plantean extracciones del 85 % al 95 % de pureza dato de partida para la simulación realizada en el presente trabajo.

Según las simulaciones para los métodos

- Cristian Antonio Ocampo Trujillo, Centro para la Formación Cafetera, SENA, Km 10 vía al Magdalena, Manizales, Colombia
caotgm@gmail.com
- Diana carolina Vargas Giraldo, Centro de Automatización Industrial, SENA, Km 10 vía al Magdalena, Manizales, Colombia
dicavagi@misena.edu.co
- Luis Ernesto Pérez Barrera, Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas, Calle 65 No. 26-10, Manizales, Colombia,
Leperez@ucaldas.edu.co

AUTORES

tratados, los tiempos de extracción utilizados fueron de 180 a 360 minutos. Con el método de fluidos supercríticos el tiempo puede disminuir a los 180 minutos pues se observa que se reduce drásticamente la cantidad de sustancia extraída. Definido el método de extracción del licopeno se realizó el análisis de factores que determinaron los criterios

para el diseño de la planta piloto, incluyendo los costos, planos y líneas de producción.

ABSTRACT

This work carried out a comparison from the theoretical review (state of the art) and a simulation in the program super pro designer, of two methods for the extraction of metabolites for the design of a pilot plant. The compared methods were the extraction with organic solvents and the extraction for supercritical fluids since they are applied to this type of extractions. According to the state of the art found by both methods, it was decided to take as a model the method of extraction by supercritical fluids with CO₂ for the extraction of lycopene of "chonto" tomato in view of the advantages in the process with regard to the method of extraction with organic solvents. Theoretically, it is suggested extractions of 85 % to 95 % of purity which is an input data for the simulation by means of the program carried out in the present work.

According to the simulations carried out by both methods treated, times of extraction used were 180 to 360 minutes. With the method of supercritical fluids, time can diminish near to 180 minutes since it is observed that it reduces drastically the quantity of extracted substance. When it is defined the method of extraction of the lycopene, it fulfilled the analysis of factors that determined the criteria for the design of the pilot plant, including the costs, planes, the lines of production.

Palabras clave: extracción, licopeno, antioxidante, metabolito, simulación,

supercríticos.

INTRODUCCIÓN

Los antioxidantes naturales han sido de interés por muchos años debido a su capacidad para retardar el desarrollo de sabores, olores, colores y reacciones desagradables en los alimentos, sin embargo, un aumento en el interés de estos componentes se ha producido en los últimos años debido a su importancia para la prevención de enfermedades mediadas por la reacciones de radicales libres in vivo (Wootton et al, 2011). Dentro de todas las investigaciones que se han realizado entorno al tema se observa que la mayor parte de los beneficios que ofrecen los antioxidantes se ven mejor representados en aquellos que son obtenidos de productos naturales, por esto se centra la atención en el tomate chonto, producto ampliamente cultivado en la región central de Colombia y que ha demostrado contener grandes cantidades de licopeno, un poderoso antioxidante (Duran et al, 1993).

Esta situación representa una oportunidad para las empresas de crear nuevas líneas de productos, con valor agregado y gran receptividad por parte de los consumidores (Araya. L.H, 2003), de este modo, se evidencia un nuevo campo de investigación en donde especialistas en nutrición y tecnología de alimentos trabajen activamente en formular nuevos productos que brinden las características que el consumidor está buscando (Morales, 2002). En este contexto, se han desarrollado estudios de nuevos métodos de obtención de aditivos que generen alimentos funcionales y que a

la vez sean de origen natural. Es así, como en el presente trabajo se propone el diseño de una planta piloto, en donde a partir de la extracción de metabolitos naturales como el licopeno, mediante métodos de extracción por solventes y extracción con fluidos supercríticos, se determina el mejor método de extracción utilizando una herramienta de simulación de procesos como el SuperPro Designer, que permite la estandarización del método, facilitando su análisis de sensibilidad frente a cambios de diversas variables, optimizándolo en cuanto a eficiencia, consumo de materias primas, tiempos de proceso, entre otros. Con los resultados obtenidos en la simulación y el análisis de los factores de diseño de plantas industriales y toda la revisión bibliográfica sobre el tema, se genera la propuesta de diseño de planta piloto para la extracción del licopeno, que cumpla con los requisitos de seguridad, funcionalidad y economía propios de este tipo de propuestas.

METODOLOGÍA

- Definición del metabolito a obtener a partir de tomate chonto según características y composición del producto.

Algunas sustancias antioxidantes como el licopeno que se sintetiza a partir de fuentes naturales exclusivamente por plantas y microorganismos, son responsables del pigmentos rojos que se encuentran en mayor proporción en el tomate y sus derivados, aproximadamente entre 80-90%, y en menor proporción en frutas tales

como: sandías, la guayaba rosa, la papaya, la toronja, entre otros. El licopeno es un pigmento vegetal, dentro de la familia de los carotenoides, soluble en grasas, que aporta el color característico a los tomates. Es una sustancia que no sintetiza el cuerpo humano, debiéndolo tomar en la alimentación como micronutriente (Villacañas, 2014). En la Tabla 1 se observa el contenido de licopeno en alimentos.

Tabla 1: Contenido de licopeno en alimentos.

Fuente	Contenido de licopeno (mg/100 g base húmeda)
Tomate fresco	0,72-20
Tomate, jugo	5,00-11,60
Tomate, salsa	6,20
Tomate, pasta	365
Tomate, sopa	7,99
Salsa cátsup	9,90-13,44
Salsa para pizza	12,71
Sandía	2,3-7,2
Guayaba rosa	5,23-5,50
Toronja	0,35-3,36
Papaya	0,11-5,3
Zanahoria	0,65-0,78
Calabaza	0,38-0,46

Fuente: (Waliszewski. K.N, 2010)

La estructura general del licopeno es un hidrocarburo alifático con 11 enlaces conjugados – doble enlaces carbono, que hacen que sea soluble en grasas, en lípidos y tenga color rojo, tal como se aprecia en la figura 1. Con estas particularidades, es susceptible a la degradación oxidativa, donde las elevadas temperaturas afectan a factores químicos y físicos como exposición a la luz, oxígeno, extremos de pH y superficies activadas, responsables de esta

(Lauro, 2000).

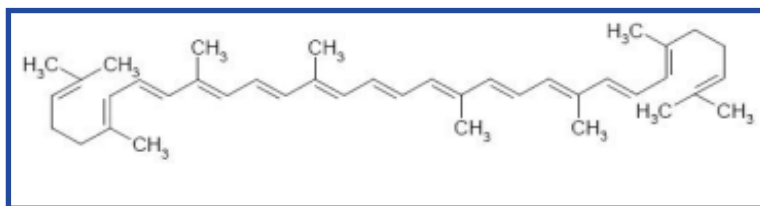


Figura 1: Estructura química del Lycopeno

- Determinación del proceso de extracción más adecuado según las características del producto a obtener.

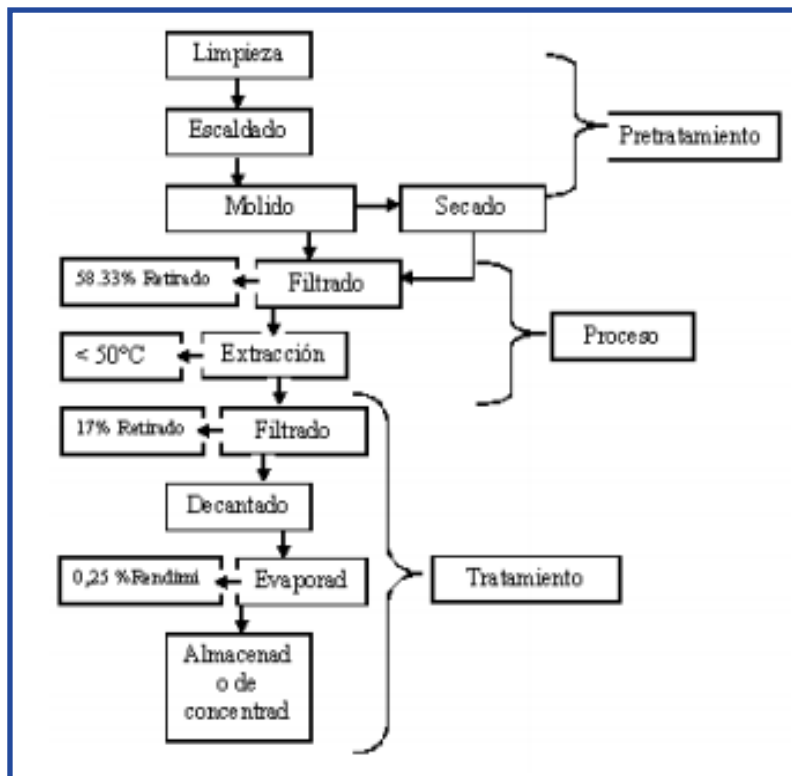
En el presente desarrollo se resalta un esquema del sistema de simulación de procesos industriales en los cuales se realizó una comparación de los dos métodos de extracción (solventes y fluidos supercríticos) aplicados al licopeno a partir del tomate chonto para determinar las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos objeto de estudio.

Extracción con disolventes orgánicos, este proceso consiste en que el solvente orgánico ingrese al vegetal para disolver las sustancias deseadas, para luego ser evaporadas y concentradas a baja temperatura. Después se elimina el disolvente, para tener sólo la sustancia deseable. Por tanto, son preferibles las sustancias químicamente inertes, para que no reaccionen con los componentes de los aceites, así como no inflamables y económicas (Madrid, 2010). Por lo general, con este método las distintas extracciones se hacen a temperatura y presión ambiental, pero se sabe por estudios experimentales que cada solvente tiene una temperatura óptima para la extracción, en la cual es posible optimizar los resultados del

proceso y asegurar la calidad del producto obtenido. En lo que respecta a las sustancias utilizadas como solventes para la extracción, el éter de petróleo, es uno de los utilizados en la industria química, se evapora fácilmente, pero con el inconveniente que es inflamable. Otra sustancia utilizada como solvente, es el alcohol, tiene la ventaja de que es soluble en agua y se le emplea cuando se tienen componentes pesados y que por lo tanto tienden a sedimentarse. Otros solventes utilizados en procesos de extracción son: Etanol, metanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo. No obstante, muchos de estos solventes orgánicos son nocivos para la salud, motivo por el cual la FDA (Food and Drug Administration), los descalifica para ser utilizados en procesos alimentarios.

Según publicaciones relacionadas, el etanol tiene un comportamiento ideal en la extracción de estos compuestos respecto a otros solventes, por lo que se realizó una simulación en Superpro Designer del proceso de extracción del licopeno del tomate chonto utilizando etanol, y para ello el bache a tener en cuenta es de 48 kg por justificación de proceso, pues como se sabe el rendimiento en la extracción es menor a 1%. Para mayor comprensión del tema se ilustra este proceso mediante un flujograma en la figura 2, y un diagrama de extracción en la figura 3.

Figura 2: Flujograma de proceso extracción con solventes.

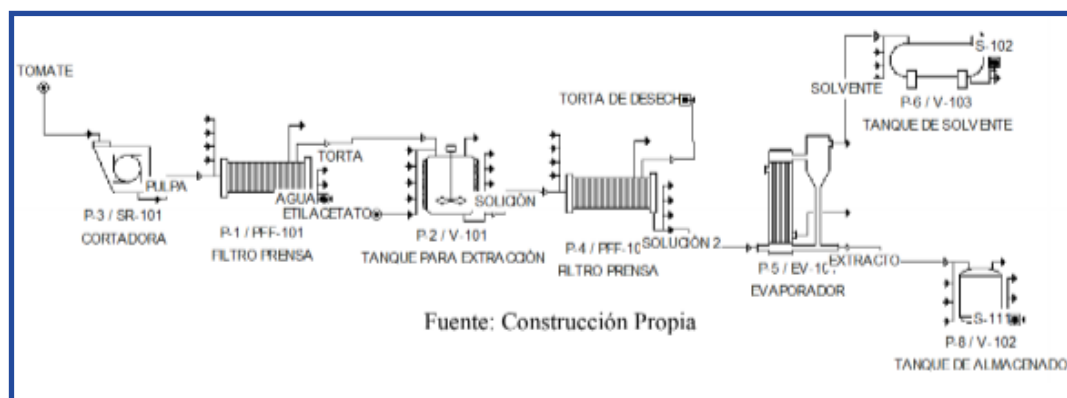


Fuente: Construcción Propia

Descripción del proceso:

Se inicia con tomate fresco, entero y maduro que será pre tratado en un molino de cuchillas y luego pasara por un filtro prensa para eliminar agua, luego pasa a la extracción, donde se trabajara con un volumen de solvente en relación 1:4 en esta parte del proceso la pulpa obtenida se mezclan con el solvente, según la relación masa/volumen determinada, bajo las condiciones de tiempo, temperatura y número de etapas. El proceso de extracción se lleva a cabo por lotes, en un tanque con calentamiento a vapor a 50°C, y con una capacidad que solo ocupe el 80 % de su volumen total, cuenta con un sistema de agitación que permite mantener en contacto continuo la pulpa con el solvente, y un condensador en la parte superior para evitar las pérdidas de solvente por evaporación, además, evitar la presurización del tanque.

Figura 3: Diagrama Extracción con Solventes (modelo simulado basico Superpro designer).



Fuente: Construcción Propia

Fuente: Construcción Propia

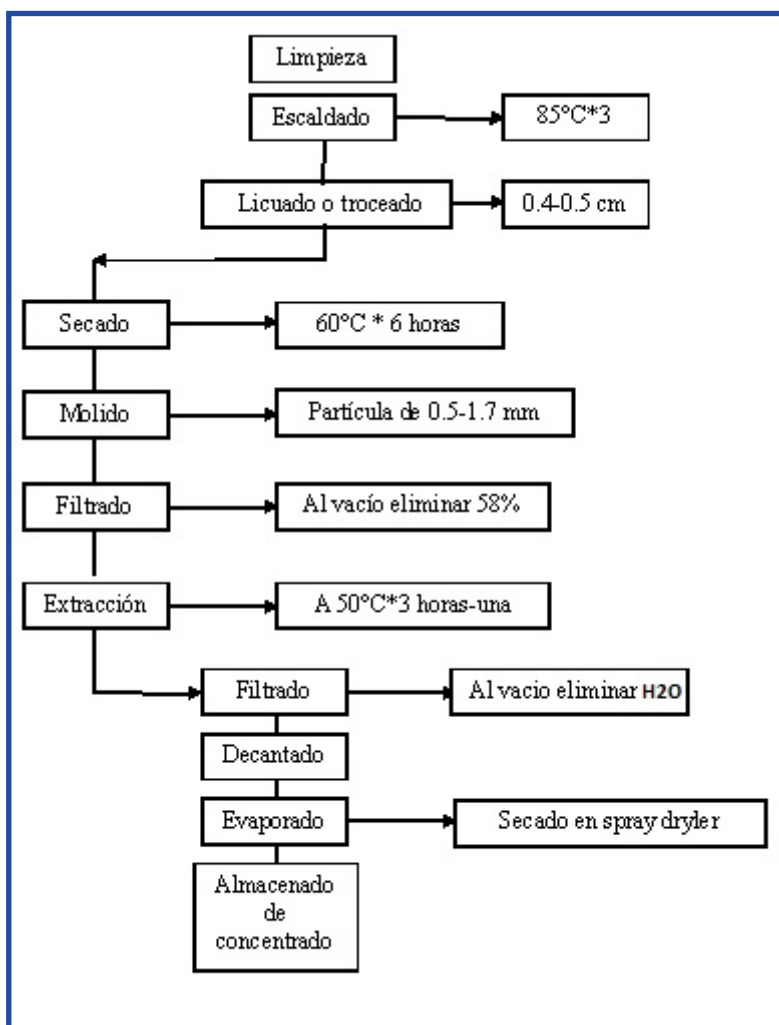
En el proceso de separación del extracto, la suspensión coloreada, después de transcurrido el tiempo de extracción que en promedio toma 180 a 360 minutos, pasa a un filtro prensa donde se separa la fase líquida de los residuos sólidos. La fase orgánica pasa a un tanque de evaporación que tiene sistema de agitación y calentamiento, para eliminar el solvente. Esta operación

se lleva acabo a 40°C y con vacío para evitar la descomposición del licopeno, bien sea por oxidación o por isomerización para obtener un rendimiento final de 0.25% que está afectado por presencia de trazas de solvente. El vapor producido pasa a un condensador y el solvente es recuperado y almacenado en un tanque con refrigeración.

Extracción con fluidos supercríticos, Cabe resaltar que la densidad en un fluido supercrítico no es lineal respecto a las variaciones de temperaturas y presiones sobre el punto crítico. En puntos cercanos al crítico, pequeñas variaciones de la presión a temperatura constante proporcionan grandes variaciones de la densidad. En cambio con presiones distantes de la presión crítica el aumento de la densidad no es tan notorio (Ruiz, 1996). En la actualidad, las aplicaciones de la extracción supercrítica son muy variadas estando presente en prácticamente todos los sectores industriales para mejorar algún proceso. Los campos de aplicación que tiene son los siguientes: el farmacéutico, el alimentario, la producción de energía, la obtención de aromas y otros productos naturales, la química orgánica y en general en todas aquellas industrias en las que exista algún proceso de extracción, precipitación o reacción química. La utilización del dióxido de carbono presenta muchas ventajas, las que sumadas a su bajo punto crítico ($T_c = 36,5\text{ °C}$ y $P_c = 7,17\text{ MPa}$), lo convierten en el disolvente ideal para usarlo en el proceso de extracción supercrítica, a pesar de tener limitaciones para extraer compuestos

polares. Una mayor comprensión del tema, se ilustra mediante el flujograma de la figura 4.

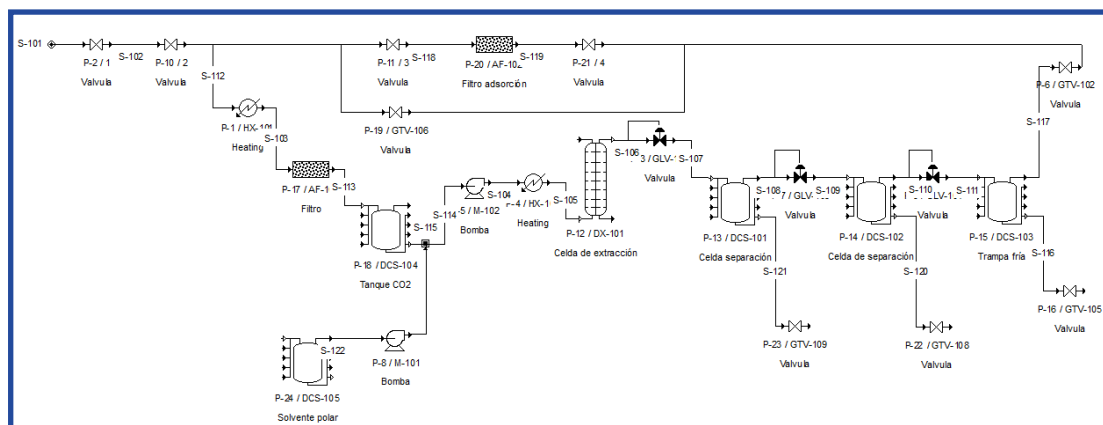
Figura 4: Flujograma Extracción con Fluidos Supercríticos



Fuente: Construcción Propia

Descripción del proceso: Se ha tomado como base la extracción de licopeno de tomate chonto para tener relación en los rendimientos de obtención de producto final, además de que la extracción se simuló con CO₂ súper crítico. El diagrama se muestra en la figura 5.

Figura 5: Diagrama Extracción con Fluidos Supercríticos (modelo simulado basico superpro designer)



Fuente: Construcción Propia

Equipado con un extractor mantenido a una temperatura de 60-70°C, y tres separadores en serie. El dióxido de carbono, se presuriza hasta el nivel deseado con la bomba, luego fluye a través de una bobina de calentamiento antes de llegar a la cama de extracción, después fluye sucesivamente a los separadores, se enfría a temperatura ambiente 20-25°C, a continuación fluye al siguiente separador a través de una válvula con reducción de presión, 450 a 400 bar a 60-70°C, (Fernández., 2008) y una reducción de la densidad de CO₂ (Hamburger, 2004).

El precipitado se recoge en el siguiente separador luego fluye al siguiente separador a través de la segunda válvula con una reducción adicional de la presión hasta 30-40 bares, (Tita G, 2010) el soluto se recoge en el siguiente separador. El CO₂ que sale de los separadores es reciclado y pasa a través de un filtro y un condensador. Los separadores funcionan a valores de presión constante, la variación de la temperatura

reduce la solubilidad del extracto y permite su precipitación. En los otros separadores la solubilidad se reduce mediante la variación de la presión, para obtener un rendimiento de extracción de 0,03% con un aprovechamiento del cercano al 90% del licopeno disponible el cual es un muy buen rendimiento.

Una vez comparadas los diferentes métodos de extracción se determina que el método más adecuado para la extracción del licopeno es el proceso de extracción por medio de fluidos supercríticos por razones como su mayor porcentaje de aprovechamiento del compuesto activo, más amigable con el ambiente, total recuperación del solvente utilizado, compuesto apto para el consumo humano, solvente no tóxico además de extracción de otros compuestos.

Procesos Productivos: Los procesos productivos que se llevaron a cabo son:

- Alistamiento de las materias primas.
- Extracción y obtención de metabolitos (antioxidantes).

Análisis Mecánico-Funcional: Para formular y diseñar un proceso que permita realizar la transformación de la materia prima, la extracción de los metabolitos de la misma y que además sea acorde con las posibilidades del mercado, del medio ambiente y de la comunidad se debieron llevar a cabo diferentes etapas:

Revisiones bibliográficas: Se visitaron bibliotecas locales, bibliotecas virtuales y se realizaron consultas de investigaciones relacionadas. Revisión de estudios de mercado, simulaciones de diferentes procesos. Ensayos y análisis mecánico-funcionales: En la planta de Proceso Agroindustriales y en el laboratorio de ciencias básicas (según procedimientos de la AOAC) del servicio nacional de aprendizaje SENA Regional Caldas.

El objetivo principal de un diseño y distribución en planta es encontrar un orden de las áreas de trabajo y de los equipos que haga más eficaz la producción en cuanto a costos, deberá ser también la más segura y agradable para los trabajadores de la empresa (Lopez, 2012). Este objetivo se logra mediante el análisis de los denominados factores del diseño, cuya síntesis se puede observar en la tabla 2.

FACTORES	DESCRIPCION
FACTOR MAQUINARIA	La información sobre la maquinaria (incluyendo la herramienta y el equipo), es fundamental para una ordenación apropiada de la misma.
FACTOR HOMBRE	Como factor de producción, el hombre es mucho más flexible que cualquier material o maquinaria. Se le puede trasladar, se puede dividir o repartir su trabajo, entrenarlo para nuevas operaciones y, generalmente, encajarle en cualquier distribución que sea apropiada para las operaciones deseadas.
FACTOR MOVIMIENTO	El movimiento es uno, al menos, de los tres elementos básicos de la producción (material, hombre y maquinaria) es esencial. Generalmente se trata del material (materia prima, material en proceso o productos acabados).
FACTOR EDIFICIO	El edificio es el caparazón que cubre a los operarios, materiales, maquinaria y actividades auxiliares debe ser una parte integrante en la distribución de plantas; este factor hace referencia al aspecto técnico-construtivo de la planta productora de panela en la cual se establece las condiciones en las que se encuentra y se denota los materiales de construcción.
FACTOR SERVICIO	Ataca tres campos: Servicio al personal, servicio a los materiales y servicio a la maquinaria y equipo.
FACTOR AMBIENTAL	Ningún método por sí sólo, puede ser usado para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de impacto, por lo tanto, el tema clave está en seleccionar adecuadamente los métodos más apropiados para las necesidades específicas de cada estudio de impacto.

Fuente: (Hopeman, 1992)

Diagrama de proximidad: Se trata de una matriz en forma diagonal en la que se enumeran todas las actividades del proceso. En ella se definen las relaciones de proximidad entre una actividad o área, con las otras que intervienen en los procesos, trayendo las siguientes evaluaciones de proximidad (Bernnan, 1998).

Tabla 2 factores participantes en el diseño

A: Absolutamente necesario

E: Especialmente importante

I: Importante

O: ordinario

U: Sin importancia

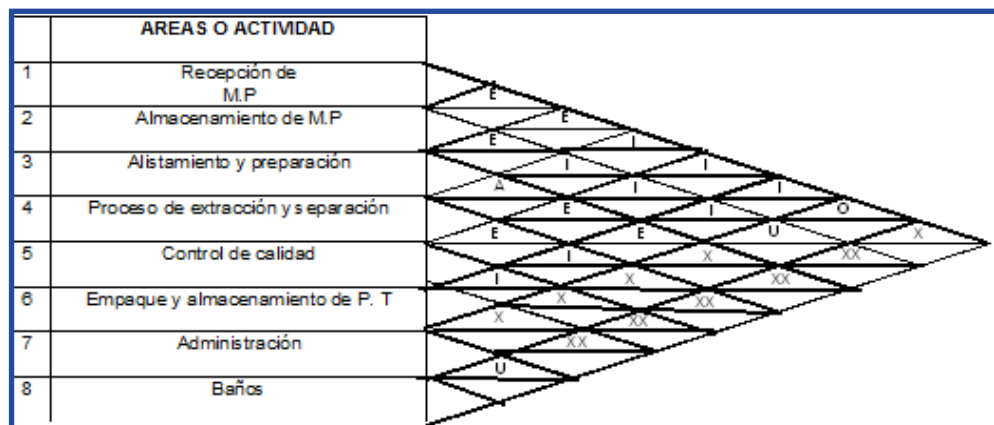
X: indeseable

XX: muy indeseable

FACTORES	DESCRIPCION
FACTOR MATERIAL	Está compuesto de los diferentes elementos que intervienen en un proceso productivo como las materias primas, materiales y accesorios, materiales de empaque embalaje, limpieza, desinfección, mantenimiento y lubricación, hombres, equipos, almacenamiento, utillaje y sistema de seguridad industrial.

Figura 6 diagrama de proximidad

XX: XXXXXXXXXXXXX: doble zig-zag

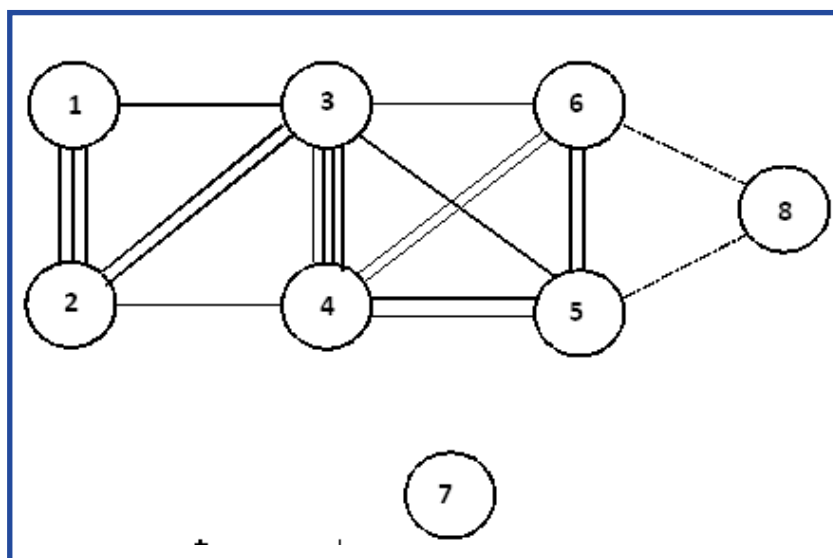


Se obtiene una representación gráfica que se va aproximando a la distribución en planta. Para tener mayor claridad respecto a la propuesta de distribución, lo más aconsejable es representar en el diagrama las relaciones entre áreas con los

Fuente: Construcción Propia

valores A, E, I, como mínimo (diagrama 8).

Cada valoración de proximidad excepto la U, se justifica con un determinado motivo, que pueden ser muy variados: generación de ruidos, olores, proximidad en diagrama de proceso, uso de los mismos equipos, higiene, accesibilidad. Por ejemplo en este caso se observan varias (A, E y I) lo que indica, que en este proceso se requiere mucha cercanía entre los procesos.

Figura 7 diagrama relacional

Fuente: Construcción Propia

Diagrama relacional de áreas funcionales: Mediante este diagrama se visualizarán las posiciones relativas de unas áreas frente a otras, utilizando los datos de la tabla de relaciones y trazando las valoraciones de proximidad de la siguiente manera (Bernnan, 1998).

A: 4 líneas

E: 3 líneas

I: 2 líneas

O: 1 línea

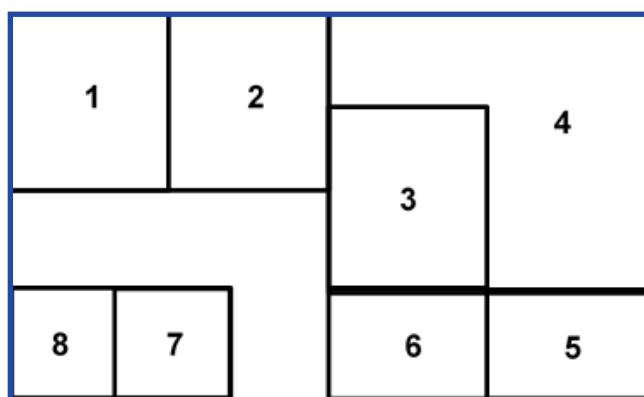
U: ninguna línea

X: vvvvvvvvvvvvvv: línea zig-zag

Este diagrama lo que pretende es brindar una posición en el espacio que permita tomar decisiones sobre la cercanía de diferentes áreas respecto a su importancia para el proceso productivo, por ejemplo observamos que la operación 3 y 4 requieren una cercanía absolutamente importante por eso se representa con 4 líneas.

Diagrama preliminar: Este diagrama, representado en la figura 10, es la consecuencia de un estudio donde a través de criterios de proximidad y pertinencia tratados en los gráficos anteriores arroja un boceto preliminar, en el que se facilitan las distribuciones del plano final, pues da herramientas necesarias para llevar a cabo un mejor diseño (Bernnan, 1998).

Figura 8 diagrama preliminar



Fuente: Construcción Propia

COMENTARIOS

Según la revisión realizada durante el desarrollo del trabajo coinciden en resaltar las propiedades del licopeno como un antioxidante, afirmando que su consumo tiene un efecto beneficioso sobre la salud humana, reduciendo notablemente la incidencia de las patologías cancerosas. Es factible concluir que el licopeno más que otro antioxidante natural, posee características altamente beneficiosas para la salud, que además de su gran biodisponibilidad en especies agrícolas de amplio consumo, lo hacen apto para su extracción.

CONCLUSIONES

Según las simulaciones realizadas, los tiempos de extracción utilizados son los citados por las referencias, tiempos de residencia de 180 a 360 minutos en ambos métodos (solventes orgánicos vs fluidos supercríticos), al compararlos, se determina que el *método más adecuado para la extracción del licopeno es el proceso de extracción por medio de fluidos supercríticos*, debido a su mayor porcentaje de aprovechamiento del compuesto activo (95 % de pureza) (no genera residuos tóxicos), total recuperación del solvente utilizado, compuesto apto para el consumo humano, solvente no toxico además de extracción de otros compuestos.

Los rendimientos para ambos métodos están determinados por el estado de madurez, la variedad, los pretratamientos en el proceso y las posibles interacciones químicas entre el material y los solventes, entre otros aspectos. Teniendo en cuenta lo anterior se pueden lograr rendimientos desde 0.01% hasta 0.2% en relación a licopeno total o ración activa.

La extracción por medio de los fluidos supercríticos es menos nociva con el medio ambiente y con los compuestos a extraer por la no contaminación de los extractos.

Referencias

- Albu. S, J. E., Paniwnyk. L, Lorimer. J. P, Mason. T. J,. (2004). Potential for the use of ultrasound in the extraction of antioxidants from *Rosmarinus officinalis* for the food and pharmaceutical industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11, 261-265.
- Andras. C, S., Orsi. F, Lambrou. C, Tatala. D. M, Panayiotou. C, Domokos. J, Doleschall. F,. (2005). Supercritical carbon dioxide extraction ofokra (*Hibiscus esculentus* L) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85.
- Araya. L. H, L. R. M. (2003). Alimentos Funcionales Y Saludables. *Revista chilena de nutrición*, 30.
- Berna. A, T. A., Blasco. M, Subirats. S. (2000). Supercritical CO₂ extraction of essential oil from orange peel; effect of the height of the bed. *The Journal of Supercritical Fluids*, 18.
- Bernardo-Gil. M.G, G.J., Santos. J, Cardoso. P,. (2002). Supercritical fluid extraction and characterisation of oil from hazelnut. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 104.
- Bernardo Gil, M. G., Grenha, J., Santos, J., & Cardoso, P. (2002). Supercritical fluid extraction and characterisation of oil from hazelnut. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(7), 402-409.
- Bernnan. J. G, B. J. R., Cowell. N. D, Lilley. A. D,. (1998). Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia S.A, 3.
- Bruce. E.P, J. M. P., John. P. O,. (2001). The properties of Gases and Liquids. McGraw Hill, 5.
- Cardona. E.M, Rios. L. A, & Restrepo. G. M. (2006). Extracción del Carotenoide Licopeno del Tomate Chonto (*Lycopersicum esculentum*). *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmaceutica, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia*, 13, 11.
- Castro. C. V, M. S. C. L. (2013). Licopeno y Salud Humana. Universidad Santiago De Cali, Facultad De Ciencias Básicas.
- Censano. J. M., V. A. M. (2000). Los Aditivos En Los Alimentos Segun La Union Europea Y Leg.Española. 450.
- Di matteo. V, E. E. (2003). Biochemical and therapeutic effects of antioxidants in the treatment of Alzheimer's disease, Parkinson's disease, and amyotrophic lateral sclerosis. *Curr Drug Targets CNS Neurol Disord.*, 2.
- Duran. M. R, & Padilla.R., B. (1993). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. *Grasas y aceites*, 44, 6.
- Educacion, S. N. d. T. d. I. (2015). Programa Alimentacion Sana.
- FAO. (2012).
- Fernández. J. P. (2008). Extracción con CO₂ supercrítico de oleoresina y otras fracciones de pimentón dulce y picante. *Grasas y Aceites*, 59. García. G. J. M, I. C. P., Félix.
- F. M. G, Ríos. M. G,. (2008). La simulación de procesos en ingeniería química. *Revista Investigación Científica*, 4.
- Gordon, M., H. (2003). *Natural Antioxidants*. Elsevier Science Ltd.
- Hamburger.M, B. D., Adler. S,. (2004). Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Selected Medicinal Plants Effects of High Pressure and Added Ethanol

- on Yield of Extracted Substances. *Phytochemical Analysis*, 15, 46-54.
- Hermanos, D. y. (2016). *Propiedades y Beneficios del Tomate*. Diaz y Hermanos.
- Hopeman, J. (1992). *Producción, Conceptos, Análisis y Control*. Editorial Continental S.A., 699.
- I. Intelligen. (1991). *Super pro Designer*. taller de diseño de procesos.
- Juan, M.G, I. C. P., Felix, G, Gustavo, R., (2008). La simulación de procesos en ingeniería química. *Revista Investigación Científica*, 4.
- Kaufmann, B, C. P. (2002). Recent Extraction Techniques for Natural Products: Microwaveassisted Extraction and Pressurised Solvent Extraction. *Phytochemical Analysis*, 13, 105113.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2011). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing*, 89.
- Lauro, G. J, F. F. J. (2000). *Natural Food colorants: science and Technology*. Basic Symposium Series.
- Lopez, S. B. (2012). *Diseño Y Distribución En Planta*. Ingenieria Industrial on line, licenses/bync-sa/3.0/deed.es.
- Luque de Castro.M.D, G.-A. L. (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta*, 369, 10.
- Madrid.U. P. (2010). *Uso Industrial de Plantas Aromáticas y Medicinales*. *Procesos Industriales Aplicados a los Aceites Esenciales*, 72.
- Melecchi, S, M. M. M., . Abad, F, . (2002). Chemical composition of *Hibiscus tiliaceus* L. flowers: A study of extraction methods. *Journal Of Separation Science*, 25, 1-6.
- Morales.A.A, G.-M. B. E., Jiménez-Salas.Z.,. (2002). *Tendencias En La Producción De Alimentos: Alimentos Funcionales*. Facultad de Salud Pública y Nutrición. Universidad Autónoma de Nuevo León (México), 3.
- Myra, M. T. (2012). *Que es el estres oxidativo*. Environmental Health Fact Sheet.
- Nutrafur. (2008). *Antioxidantes Naturales*. Science Extracted From Nature.
- Palmer.M.V, T. S. S. T. (1995). Applications for supercritical fluid technology in food processing *Food Chemistry*, 52.
- Pan, X, N. G., Liu,. (2003). Microwave-assisted extraction of tea polyphenols and tea caffeine from green tea leaves. *Chemical Engineering and Processing*, 42, 129-133.
- RD&I Christchurch. (2005). *Pekapeka / Bats* (Vol. NS0054): Department of Conservation, Te Papa Atawhai.
- Romdhane, A.M, G. C. (2002). Investigation in solid-liquid extraction: influence of ultrasound. *Chemical Engineering*, 87, 19.
- Roy, B, G. M., Akio Kodama, A, Hirose.T., (1996). Supercritical CO2 extraction of essential oils and cuticular waxes from peppermint leaves. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 67.
- Ruiz, P. S. (1996). *Aplicacion Del Dioxido De Carbono Supercritico Al Procesado De Alimentos: Nata, Subproductos Del Refinado De Aceites Vegetales Y Zumo De Naranja*. Universidad Complutencce de Madrid, Facultad de Farmacia.

- Salisova.M, T. S., Mason.T .J,. (1997). Comparison of conventional and ultrasonically assisted extractions of pharmaceutically active compounds from *Salvia officinalis* Ultrasonics Sonochemistry, 4, 131-134.
- Schinora. E. C, S. M. J., Izabel C.C Turattib, Orghêda L.A.D Zucchia, b, Diones A Diasa, b, , . (2004). Comparison of classical and ultrasound-assisted extractions of steroids and triterpenoids from three *Chresta* spp. Ultrasonics Sonochemistry, 11, 415-421.
- Sifuentes, V. H. M. (2000). Simulación de procesos en Ingeniería Química: Plaza y Valdés.
- Villacañas. M. L. (2014). El Licopeno y la Magia de Unirlo al Aceite de Oliva. AOVE y Salud, 1.
- Vitale. A.A, B. E. A., Pomilio. A.B,. (2010). Carotenoides en quimiopreención: Licopeno. Acta bioquímica clínica latinoamerica, 44.
- Waliszewski. K, B. G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. Salud Publica de Mexico, 52.
- Waliszewski. K.N, B. G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. Salud Pública de México, 52.
- Woitsch, S., & Ro"mer, S. (2005). Impact and interaction of lipophilic antioxidants in mutants and transgenic plants. elsevier, 162.
- Wong, S., P, Leong, L. P., & William Koh, J. H. (2006). Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. Food Chemistry, 99.
- Wootton, P, C, & Ryan, B., L. (2011). Improving public health The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. Food Research International.
- Zarnowski. R, S. Y., Yamaguchi. B, Pietra. S.J,. (2002). Alkylresorcinols in Barley (*Hordeum vulgare* L. distichon) Grains. Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, 57, 57-62.



SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA EL AGRO COLOMBIANO

RESUMEN

El Semillero de Investigación “Desarrollo de Software” formuló el proyecto de investigación Sistema de Información Agrícola (SIA), el cual tiene como objetivo desarrollar un sistema de información y aplicación móvil agrícola para la visualización de variables por medio de sensores (Humedad del suelo, Radiación solar global, Temperatura relativa, Humedad relativa, Temperatura del suelo y Precipitación de lluvia) con tecnologías de bajo costo. Este proyecto se encuentra en fase de pruebas (Hardware y Software) en el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial del municipio de Dosquebradas, Risaralda, Colombia. Este sistema actualmente permite al usuario visualizar el comportamiento de las variables del cultivo, en tiempo real, por medio de gráficos lineales que son generados a partir de filtros (Nodo, Sensor y Rangos de Tiempo).

- Yuly Paulin Saenz Agudelo
ysaenz@sena.edu.co CDITI
- Carlos Andres Jaramillo
cajaramillo@gmail.com-CDITI
- Carlos Enrique Posso Sabogal
ceposso@sena.edu.co -CDITI
- Armango Arango
arangoarmando64@gmail.com-CDITI

AUTORES

Palabras clave: Nodo, sensor, variables, cultivo.

ABSTRACT

The investigation seedbed “Software Development” formulated the AIS(Agricultural Investigation System) project, whose objective is to develop an information system and agricultural mobile app in order to visualize variables through sensors (Soil moisture, global radiation, relative temperature, relative humidity, soil temperature, and rainfall) with low-cost technologies. This project is in testing phase (Hardware and Software) at CDITI in Dosquebradas, Risaralda, Colombia. Currently, this system allows the user to visualize the behavior of the crop variables in real time by means of line graphs, which are generated from filters (Node, Sensor and time ranges).

INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido uno de los factores más relevantes para la supervivencia del ser humano, pues el uso racional de los recursos hace necesaria la implementación de estrategias que permitan el análisis y control de los procesos que se generan en los cultivos. Debido a la demanda de alimentos y al crecimiento de la población mundial se hace necesario implementar soluciones innovadoras que permitan potencializar el crecimiento, producción y calidad de los alimentos en el sector agrícola.

En la actualidad existen proyectos relacionados con la agricultura de precisión en diferentes tipos de cultivos, los cuales han sido desarrollados en países como Argentina (Flego & García, 2008), España (Gil, 2002) y Estados Unidos (Daberkow

& McBride, 2003) siendo éstos pioneros al hablar de agricultura de precisión en el mundo.

En 2015 (Infocampo, 2015) realizó una comparación en la producción de cultivos, donde encontraron que en algunas hectáreas se producían 62 toneladas mientras que otras producían 100. Este análisis incentivó las investigaciones en metodologías que permitieran mejorar los procesos de agricultura, introduciéndose a estudios en la implementación de la agricultura de precisión para la captura de datos de las diferentes variables asociadas al cultivo que permitieran la toma de decisiones a lo largo del proceso de siembra y producción en el cultivo.

La agricultura de precisión permite satisfacer las exigencias y afrontar los desafíos que se presentan en el sector como aplicar la cantidad de insumos necesarios, manejo adecuado del suelo, monitoreo de las variables del cultivo, manejo de grandes extensiones de cultivos, entre otros.

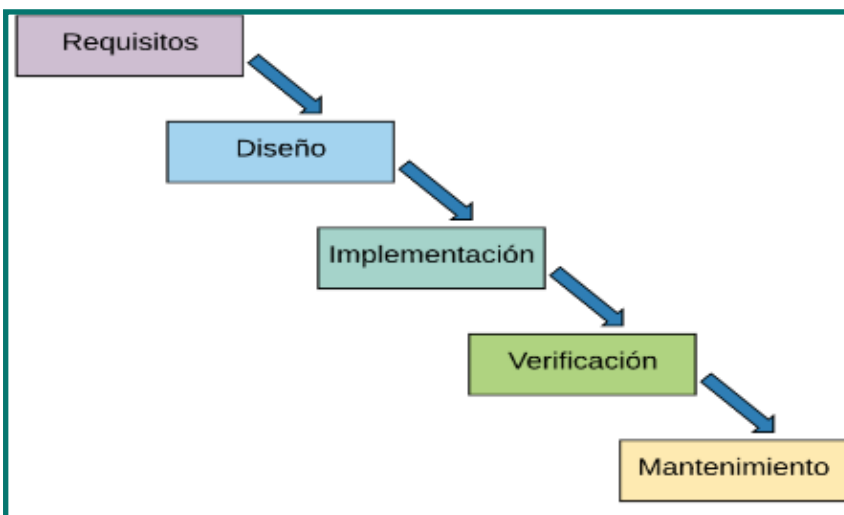
Luego de diferentes investigaciones se determinó que las tecnologías de bajo costo podrían suplir las tecnologías europeas (tecnologías más costosas), teniendo un rango de inversión menor y aumentando la cantidad de nodos de uno a cinco. Es por esto por lo que el proyecto SIA se enfoca en promover tecnologías que permiten al agricultor, por una menor inversión, adquirirlas e implementarlas en sus cultivos y realizar la visualización de los datos de los sensores a través del sistema de información y la aplicación móvil.

MATERIALES Y MÉTODOS

de investigación de la siguiente forma:

El proyecto SIA se realizó con investigación aplicada a través del ciclo de vida de desarrollo de software, el cual es una secuencia estructurada de etapas de la Ingeniería de Software para desarrollar el proyecto. Dentro de los diferentes modelos de ciclo de vida, en el proyecto se ha utilizado la metodología del ciclo de vida en cascada, el cual sugiere un enfoque sistemático y secuencial para el desarrollo del software, que comienza con la especificación de los requerimientos por parte del cliente y avanza a través de planeación, modelado, construcción y despliegue, para concluir con el apoyo del software terminado (Pressman, 1988).

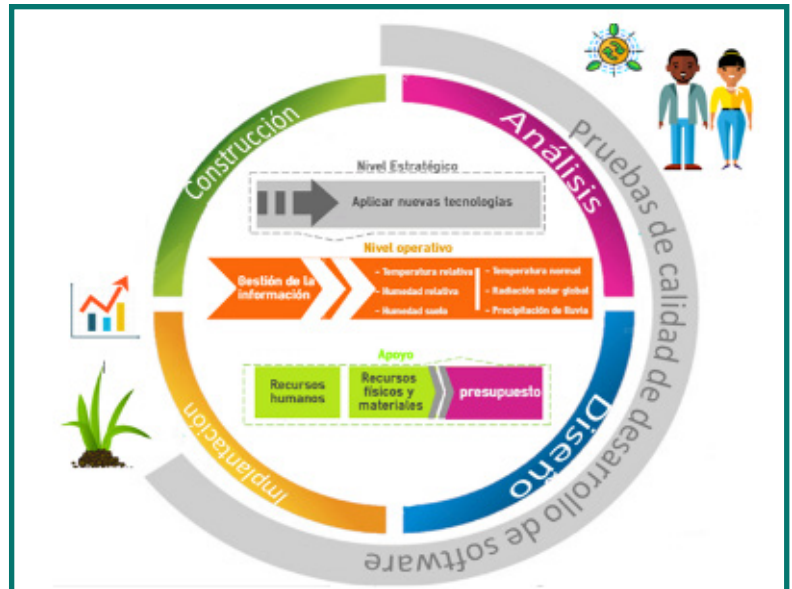
Figura 1. Fases de modelo en cascada.



Fuente: <https://openclassrooms.com/en/courses/4309151-gestiona-tu-proyecto-de-desarrollo/4538221-en-que-consiste-el-modelo-en-cascada>

Esta metodología fue enfocada al proyecto

Figura 2. Metodología



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la Técnicas de Recolección de datos utilizada en el proyecto fue la observación, que es una técnica bastante objetiva de recolección; quien usa esta técnica participa activamente como espectador de las actividades llevadas a cabo por una persona para conocer mejor su sistema, además, clasifica y consigna los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia. Este método fue utilizado en el proyecto de investigación para determinar las soluciones tecnológicas que se usaron en la implementación de la red de sensores en los cultivos a través de tecnologías de bajo costo, ya que el proyecto en su primera

concepción estuvo enfocado en tecnologías extranjeras que incrementaban la inversión que se debía realizar para adquirirlas y que solo permitía tener un nodo con sensores. Luego de diferentes investigaciones se logró determinar que las tecnologías de bajo costo podrían suplir las tecnologías europeas (tecnologías más costosas), teniendo un rango de inversión menor y aumentando la cantidad de nodos a cinco. Es por esto por lo que el proyecto SIA se enfoca a este tipo de tecnologías que permiten al agricultor, por una menor inversión, adquirirlas e implementarlas en sus cultivos y realizar la visualización de los datos de los sensores a través del sistema de información y la aplicación móvil.

Para el desarrollo del sistema de información web se utilizaron las herramientas de desarrollo Python, Django y MariaDB. Y, para la elaboración de la aplicación móvil se utilizaron las herramientas de desarrollo Android Studio y Java. Con la utilización de estas herramientas de desarrollo, se generó la base de datos del sistema, la aplicación Web y el desarrollo de la aplicación móvil (Login, Home y Graficas), permitiéndole al usuario visualizar el comportamiento de las variables asociadas al cultivo, los cuales pueden ser visualizadas a través de la web o un dispositivo móvil, seleccionando filtros (nodo, sensor o rango de fecha) que generaran las gráficas lineales.

Por otra parte, el Hardware utilizado en el proyecto para el montaje de los sensores fue el siguiente: Sensor de temperatura y humedad relativa Modelo DTH22/AM2302, Sensor de humedad para el suelo – Higrómetro, Tarjeta Arduino UNO, Modulo RF XBee-PRO

22, Shield XBee para Arduino, Adaptador USB para módulos XBee XPLOER, Shield cargador solar para Arduino, Raspberry PI Zero W – Wifi y Bluetooth, Panel Solar 5W, Batería recargable polímero de litio, Shield conversor ADC-ADS1115, Sensor de temperatura DS18B20, Cargador solar para baterías litio polímero, Display LC 7" HDMI capacitivo + bicolor case, Celda de carga 5KG, Piranómetro autoalimentado SP-110-SS, Modulo driver celda de carga con HX711. La unificación de los componentes se realizó con un nodo central que recibe los datos por radiofrecuencia con los XBee, y las cajas de protección de estos componentes se elaboraron con la impresora 3D.

La fusión de los componentes Hardware y Software permitieron generar el programa en el servidor y 5 nodos (red de sensores) para la toma de datos que son enviados por medio de la tecnología inalámbrica Xbee al servidor Raspberry y almacenados en la base de datos del sistema de información web.

RESULTADOS

Los productos de investigación elaborados en el Semillero reposan en el Grupo de Investigación TEI INNOVA del Centro de Formación. Los resultados son:

- Informe de requerimientos del sistema.
- Informe de análisis del sistema.
- Informe de diseño del sistema.
- Mockups de la aplicación web y la aplicación móvil.
- Implementación del Hardware Libre para cada nodo del Sistema de Información.

- Modelamiento e impresión en 3D de las carcasas de cada uno de los nodos del Sistema.
- Programación de los Nodos que envían los datos y del nodo principal que recibe la información.
- Sistema de Información web con interfaz de login y dashboard que permite graficar los últimos 30 registros para todos los sensores asignados a los diferentes nodos del cultivo, también permite graficar con filtros de búsqueda como el nodo, el sensor y rangos de tiempos dados en días y meses.
- Webservice que permite comunicar el servidor de la aplicación Web con la aplicación móvil de Android.
- Aplicación Móvil para plataforma Android que permite validar usuarios y mostrar las gráficas de las lecturas de los sensores de cada nodo en sus últimas 30 lecturas y por medio de los mismos filtros de la aplicación Web. *

* A Septiembre de 2019

DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como propósito desarrollar una aplicación web y móvil agrícola para la visualización de variables por medio de sensores, en un principio, cuando se realizó la definición del proyecto se había contemplado la posibilidad de utilizar tecnología Libelium que permitía a través sus sensores implementar la red de nodos del proyecto. Después de la aprobación del proyecto por parte de SENNOVA, y el presupuesto que le fue aprobado y asignado al proyecto, los investigadores identificaron que éste no alcanzaba para

implementar siquiera un nodo con la tecnología Libelium, por ende, se realizaron diferentes consultas e investigaciones acerca de las tecnologías de bajo costo que permitieran implementar la red de sensores requerida para el proyecto. Las tecnologías de bajo costo se encuentran basadas en la placa de desarrollo Arduino y Raspberry Pi, el cual ofrece Hardware y Software fácil de usar, al realizar la investigación y cotización de los elementos requeridos para el funcionamiento del proyecto, se pudo evidenciar que con el presupuesto asignado y utilizando esta tecnología se adquiriría el Hardware necesario para implementar el proyecto el cual se ajustó a 5 nodos, un incremento exponencial a comparación de la tecnología Libelium (recordando que solo se podía implementar 1 solo nodo), por ende, los investigadores decidieron adquirir esta tecnología.

Por otro lado, se debe probar el funcionamiento continuo del sistema para determinar cómo pueden las condiciones climáticas atenuar las señales de radiofrecuencia con las que los sensores envían la información al nodo central, además, de medir la capacidad de almacenamiento máximo de la base de datos con la información emitida por los sensores y la forma en la que afecta la velocidad de las transacciones el volumen de datos almacenados, para que con esta información se pueda implementar en futuras investigaciones elementos como Big Data e Inteligencia Artificial con la finalidad de implementar almacenamiento en la nube para el respaldo de la información, así como también algoritmos que permitan realizar análisis y proyecciones de los cultivos para

las fases de siembra y cosecha.

A través del desarrollo del proyecto se logró demostrar que utilizando tecnologías de Hardware y Software Libre se reducen los costos de tecnología para la implementación del proyecto.

CONCLUSIONES

El proyecto SIA, en su primera fase, incursiona en el mercado nacional e internacional a través de las tecnologías de bajo costo que se pueden implementar en los cultivos en pro del desarrollo del sector agrícola, a través de una red de sensores que permiten al agricultor visualizar el comportamiento de las variables (Humedad del suelo, humedad relativa, temperatura relativa, precipitación de la lluvia, radiación solar global y temperatura del suelo) del cultivo en tiempo real.

Dentro de las ventajas que tiene el sistema de información Web y la aplicación móvil SIA, no se requieren conocimientos exhaustivos en el uso y manejo de las TIC, ya que el agricultor podrá visualizar fácilmente el comportamiento de los sensores que se encuentren instalados en sus cultivos; la visualización se realiza a través de la selección de filtros (nodo, sensor, rango de fecha) que permiten visualizar el comportamiento de las variables con el fin de tomar decisiones en el proceso de producción e inversión necesaria en el cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial (CDITI) de la ciudad de Dosquebradas en cabeza del Subdirector

de Centro el Magister Oscar Alberto Sánchez López, la Coordinadora Misional Luz Myriam Vivas Espinal, el Coordinador Académico Héctor Fabio Ospina Álvarez, el Líder del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Juan Carlos García Buitrago y la Líder del Grupo de Investigación Martha Elizabeth Cortez Rico; los cuales han apoyado este proceso desde sus inicios destacándose por su entrega y apoyo incondicional desde la parte Directiva, Administrativa y Operativa.

Citas y referencias bibliográficas

- Agronet Acerca de Agronet. (s. f.).
<http://www.agronet.gov.co/agronet/Paginas/default.aspx>
- Banco Mundial - Banco Mundial, con datos de la FAO. (17 de enero, 2012). Argentina, en el décimo lugar de países con tierra cultivable. Diarionorte.com. <http://www.diarionorte.com/article/71742/argentina-en-eldecimo-lugar-de-paises-con-tierra-cultivable->
- Congreso Latinoamericano agricultura de precisión. <http://clap2018.cl/>
- Corferias. ¿Por qué el IoT y la agricultura de precisión son el futuro del agro?. <https://expoagrofuturo.com/es/blogarticulo/19/%C2%BFPor-qu-el-IoT-y-la-agricultura-de-precisin-son-el-futuro-del-agro>
- El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo - 2018. <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/es/>
- García, E., & Flego, F. (2008). Revista de Ciencia y Tecnología. http://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia_y_tecnologia/ciencia_y_tecno_8.html
- Monitoreo de cultivo: Invertir, no gastar. (2015, octubre 29). <http://www.infocampo.com.ar/monitoreo-de-cultivo-invertir-nogastar/>
- Mundial, E. B., de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en C. C. la C. E.-A. y C. la O., De foros en línea, L. a. C. U. S., & de la creciente demanda por conocimiento sobre cómo utilizar las TIC para mejorar productividad agrícola y aumentar el ingreso de los pequeños productores.
- El siguiente resumen captura las discusiones de uno de estos eforos. El texto se origina, de dos S. de D. C. U. E. E.-F. se O. del L. del L. de C. del B. M. “las T. en la A. y. (s. f.). Las TIC y la agricultura en el contexto del “crecimiento verde”. <http://www.fao.org/3/aaq000s.pdf>
- Objetivo 2: Hambre cero. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-2zero-hunger.html>
- Peters, G. H., & Pingali, P. (2018). Tomorrow's agriculture: Incentives, institutions, infrastructure and innovations - proceedings of the twenty-fourth international conference of agricultural economists: Incentives, institutions, infrastructure and innovations - proceedings of the twenty-fourth international conference of agricultural economists (G. H. Peters & P. Pingali, Eds.).
<https://play.google.com/store/books/details?id=GSJWDwAAQBAJ>
- Pressman, R. S., & Troya, J. M. (1988). Ingeniería del software. <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45525376/Ingenieria.de.software.enfoque.practico.7ed.Pressman.PDF?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538171091&Signature=DJH%2Bz5ZA42wRQUR3zYTX3eQCTW8%3D&response-contentdisposition=inline%3B%20filename%3DIngenieria.de.software.enfoque.practico.pdf>



IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE INTERFAZ HUMANA DE INTERACCIÓN NO OYENTE-OYENTE PARA EL APOYO EN LOS PROCESOS FORMATIVOS EN EL CENTRO DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL

Implementation of a non-listening human interaction prototype interface for support in training processes in the industrial technological design and innovation center.

RESUMEN

El Servicio Nacional de Aprendizaje en la Regional Risaralda Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial (CDITI) viene trabajando con diferentes tipos de poblaciones en su inclusión social y específicamente con población sorda que quieren capacitarse en programas técnicos y tecnólogos enfrentado diferentes adversidades ya que nuestros centros de formación no tienen la capacidad para atender a cada uno de los sordos que deseen o estén estudiando en nuestro centro. Para brindar una solución desde el punto de vista tecnológico en la presente investigación se desarrolló un prototipo funcional para traducir el movimiento de la mano de un sordo.

- Diego Fernando Salcedo Toro
dsalcedot@sena.edu.co-TECNOPAQUE NODO RISARALDA
- Wilson Ramirez Zuluaga
wramirez@sena.edu.co-CDITI

AUTORES

Dicho prototipo se desarrolló en equipos de trabajo con los aprendices del centro de diseño e innovación tecnológica industrial Sena Dosquebradas, mediante un proceso y metodología ágil, el prototipo se encuentra en versión 3 la cual mediante el uso de dispositivo utilizado en la mano con batería detecta lo movimientos de la mano,

posición en el espacio de la mano (ejes x, y, z) y determina el movimiento de dos dedos, con este prototipo se logró determinar dos señales del lenguaje de señas colombiano (LSC).

PALABRAS CLAVES: Comunicación Direccional, Hardware, Software, señas, sordos.

ABSTRACT

The National Apprenticeship Service in the Risaralda Regional Center for Design and Industrial Technological Innovation (CDITI) has been working with different types of populations in their social inclusion and specifically with deaf people who want to train in technical programs and technologists faced with different adversities since our centers They do not have the capacity to attend to each of the deaf people who wish or are studying in our center. In order to provide a solution from the technological point of view, in the present investigation a functional prototype was developed to translate the movement of the hand of a deaf person.

KEYWORDS: Directional Communication, Hardware, Software, signs, deaf.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos con los que se enfrentan los instructores del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA en los ambientes de formación es orientar procesos de enseñanza – aprendizaje - evaluación con aprendices en condición de discapacidad, se puede observar la estadística del año 2019 que a nivel nacional eran 21.160 aprendices. (J.

Fuller, E. Fuchs, y K. Roesler, 1988).

En el caso de la población sorda a nivel nacional, en la estadística DANE de 2013 había un total de 131.538 sordos, para el año 2015 solo en la región había un total de 2.479 sordos registrados. (E. Miller, s.f.).

El proyecto de investigación que se desarrolló tomo la población sorda aprendiz del Sena de la regional Risaralda que para el año 2019 eran 42 aprendices (R. Vidmar, 1992) pero que ha ido en aumento consecutivamente, teniendo como referente que solo se encuentra un intérprete asignado por jornada (1 mañana- 1 tarde noche) (E. Clarke, 1950) con lo cual se puede concluir que es necesario una mayor cantidad de intérpretes para los diferentes grupos, temas y áreas en las cuales se encuentran ubicados.

Los interpreten brindan apoyo a los instructores en cuanto a la interpretación, ya que mediante resolución No. 10185 de 22 junio 2018 se reglamenta el ejercicio de interprete para las personas que veían realizando dicha función y superen las pruebas que determine el Ministerio de Educación (G. Young, 1964) con lo cual solo los instructores que tengan la debida experiencia y estudio como interprete podrán realizar dicha función en los ambientes de formación sin requerir del apoyo del interprete, pero no hay estadística oficial al respecto y podríamos afirmar de acuerdo a encuesta interna en el área de Teleinformática de la Regional Risaralda-Dosquebradas que ningún instructor cumple dicho perfil.

De acuerdo con los lineamientos de la política

pública de Discapacidad desarrollada por el Departamento de Planeación Nacional, Colombia busca avanzar en un enfoque más allá del manejo social del riesgo y quiere llegar a un enfoque de derechos de los discapacitados. (J. Jones, 1991).

Se debe tener en cuenta que los aprendices sordos tienen dificultades en la lectura del idioma español, dificultando aún más el uso de material didáctico y en el caso de los videos que contienen audio será igual de difícil. (E. Reber, R. Mitchell, y C. Carter, 1968).

Por lo anterior se requiere de soluciones inmediatas las cuales permitan que los discapacitados ejerzan sus derechos como cualquier ciudadano: libertad de trabajar, libertad de escoger su profesión, libertad de enseñanza, libertad de aprendizaje, libertad de investigación, libertad de cátedra. (S. Talleen, 1996).

Teniendo en cuenta las dificultades anteriormente expuestas se estructuró el proyecto, para esto se desarrolló e implementó un prototipo de interfaz de comunicación únicamente en un sentido direccional: persona no oyente a persona oyente.

Como parte importante del proceso de ver el estado actual en cuanto a interfaces para traducción de lenguaje de señas se determinó realizar un informe de inteligencia competitiva la cual como esencia nos permite ejecutar un proceso de recolección y análisis de información acerca del objeto de estudio, de los competidores y de la propia organización.

Después de realizar una vigilancia tecnológica se encontró que en el mercado existen diferentes herramientas que realizan la interpretación o traducción, ninguna de ellas realizada en el país, con algunas de ellas no tenemos acceso al ser prototipos y otras no son modificables, posteriormente se definieron unos parámetros generales del prototipo.

Los parámetros generales del prototipo se definieron luego de analizar con detalle cada ventaja y desventaja de dichos dispositivos, también logramos determinar ventajas y desventajas de algunos dispositivos a los cuales teníamos acceso y se encontraban referenciado en diversas tesis, subproductos y productos sustitutos.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta para definir los parámetros fue la de analizar algunas variables a las que nos enfrentábamos diariamente con los aprendices sordos, entre las cuales se definen: poca cantidad de intérpretes, conectividad con alto flujo de usuarios, ambientes de formación en diferentes horarios, calor en algunos ambientes de formación, usabilidad del dispositivo, estética del dispositivo ya que se convertiría en un accesorio el cual posiblemente no fuera de agrado de muchos aprendices.

El proyecto se segmentó en una comunicación en una sola dirección para poder responder a las siguientes inquietudes: que traduzca, pero no interprete, que reconozca los movimientos de la mano de un aprendiz sordo, que el aprendiz tenga libertad de movimiento, que no requiere de un ambiente con una iluminación determinada y limitada

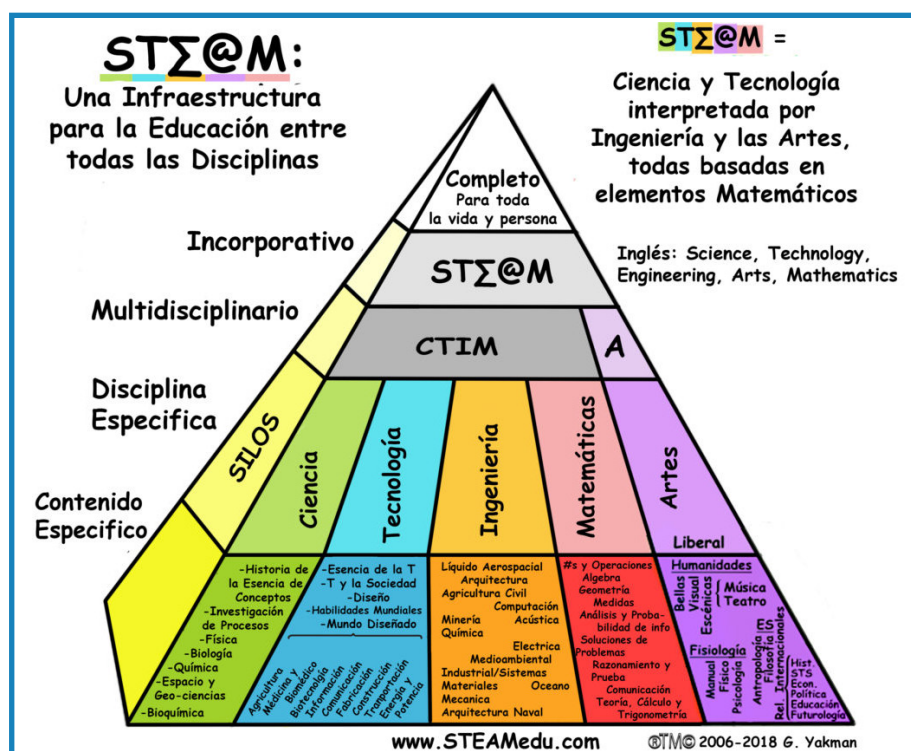
por los sistemas de visión artificial, que varios aprendices puedan utilizar un dispositivo en el mismo ambiente de formación, que sea fácil de utilizar, que no requiera de estar frente a un dispositivo de interpretación, que el desarrollo no tenga un costo elevado, que tenga la posibilidad de utilizarlo en un ambiente laboral y no interfiera con su trabajo. (D. Ebehard y E. Voges, 1984).

Para la implementación del prototipo se requirió de diversos equipos existentes en el mercado con lo cual se realizaría el diseño de la interfaz física y ergonómica y posteriormente el desarrollo del software de comunicación necesario para la interfaz de comunicación.

Los equipos utilizados se utilizan para el desarrollo de prototipos: Arduino uno, micro, nano, modulo wifi esp01, raspberry pi 3b+, Intel movidius, sensores barométricos, de presión, de distancia., de movimiento, acelerómetros, giroscopios, cámara de raspberry pi.

(Process Corp., Framingham, MA, s.f.), el estudio de casos (J. Alqueres y J. Praca, 1991) y la metodología STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) (S. Hwang, 1997) con unas fases y unos sub proyectos que permitían la construcción del conocimiento y la ejecución del prototipo de forma incremental permitiendo el trabajo en equipo y construir en un aula Maker. (Guide for Application of Power Apparatus Bushings, 1995)

Figura 1. Pirámide de conocimientos STEAM.



2. DISEÑO DE LA METODOLOGIA

2.1 Selección de la metodología.

Para esta investigación se realizó la planeación de todo el proyecto teniendo como fundamentos las metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos

Fuente: Elaboración propia

A partir de la metodología steam de la Figura se incorporaron diversos conocimientos en el proceso y diversas temáticas para ser aprendidas y utilizadas por parte de los aprendices.

2.1.1. Documentos:

- Realizar una revisión del estado del arte de las interfaces utilizadas para comunicación con las personas sordas.
- Prueba de elementos adquiridos, verificación de funcionamiento, marcas y patentes de cada elemento, funcionalidades, limitaciones, ventajas y desventajas, consumo de energía, tiempo de vida útil estimado en un ambiente hostil.
- Documento sobre la fabricación de piezas 3D, pruebas de resistencia, verificación de seguridad del producto para evitar accidentes, conductividad de los materiales, recalentamiento de las piezas 3D.

2.1.2 Capacitaciones:

- Realizar transferencias y/o complementarias con los aprendices del semillero en temas relacionados con la investigación: motores de búsqueda, operadores, manejo de referencias, uso de herramientas de la biblioteca Sena.
- Realizar transferencias y/o complementarias para lógica de programación, programación de sensores con microcontroladores y sensores controlados con Arduino. (G. Brandli y M. Dick, 1978).
- Realizar transferencias y/o complementarias para programación en lenguaje Python.
- Realizar transferencias y/o complementarias para instalación, administración de sistema operativo Linux Raspbian y uso de placa

Raspberry Pi para IoT.

- Realizar transferencias y/o complementarias para modelamiento 3D y uso de impresora 3D.

2.1.3 Construcción de sub proyectos open hardware:

Se realizaron diferentes actividades para programar cada uno de los siguientes sensores, actuadores y sistemas de comunicación, por cada uno de los dispositivos se generaron mínimo 5 sub proyectos.

2.1.3.1 Telecomunicaciones: Radioenlace NRFL24L01, MP433MHZ, Bluetooth 2 y 4, Wifi 802.11, RFID, GPS

2.1.3.2 Sensores: Temperatura, humedad, gas, alcohol, calidad del aire, monóxido de carbono, vibración, ultrasonido, pir, presión atmosférica, giroscopio, acelerómetro, reloj RTC, Flexómetro, distancia, sensor táctil, sensor de gestos de la mano, teclado de membrana

2.1.3.3 Actuadores: servomotor, motor dc, Potenciómetros

2.1.3.4 Módulos (Shield): modulo conversor de voltaje, modulo ethernet, módulo I2cLCD, modulo LCD y módulo TFT

2.1.3.5 Sub proyectos combinados:

En estos sub proyectos se utilizaron dos o más sensores funcionando sobre el mismo microcontrolador y otros proyectos con microprocesador.

- Programación multihilo Arduino.
- Control de servomotores desde

teclado.

- Proyecto casa inteligente con 3 sensores multihilo.
- Proyecto brazo robótico controlado por bluetooth.
- Proyecto brazo robótico controlado mediante IMU 6 DOF.
- Servomotores modificados para feedback y lectura de posiciones de un brazo en el eje x, y, z.
- Pruebas sobre estructura en el cuerpo para determinar los movimientos y posición con potenciómetros y motores paso a paso validando matemáticamente la posición en el espacio.
- Raspbian: construcción de sistema de reconocimiento facial para seguridad, programado con librería OpenCV.

2.1.3.6 Componentes 3d:

- Diseño de exoesqueleto.
- Desarrollo de exoesqueleto en materiales amigables con el medio ambiente.

2.1.4 Construcción de proyectos con Hardware Propietario:

- 1). Programación en C# para la interfaz en Kinect.

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

Para el desarrollo de la metodología se diseñó un cronograma de trabajo con unas actividades las cuales durante todo el desarrollo se cumplieron y sin necesidad de modificarlas, dichas

actividades fueron: capacitación en programación, capacitación en modelamiento 3D, capacitación en herramientas de búsqueda en motores especializados, programación de microcontroladores Arduino, programación de sensores, programación de microcontroladores multitarea, los únicos cambios que se dieron fueron en los tiempos asignados para desarrollar el proyecto y por lo tanto los grupos de aprendices que decidieron voluntariamente participar en dichas franjas horarias.

3.1 Cronograma de trabajo

Actividades definidas de acuerdo con diferentes líneas de acción, tales como: documento, capacitaciones, pruebas, sub proyectos.

También se definió una estrategia de validación del prototipo mediante la ejecución de dos líneas de trabajo, una línea con software y hardware libre y otra línea con hardware propietario, esto con el propósito de poder validar el prototipo con una herramienta con un nivel de madurez adecuado.



Figura 2. Líneas de trabajo del Proyecto principal.

3.2 Grupos de trabajo:

Es importante destacar que el proyecto se desarrollo en conjunto con aprendices en formación lo cual permitió impactar con temáticas de la cuarta revolución industrial, el trabajo en equipo (IoT, cloud, Robótica), trabajo colaborativo, proyectos con metodologías ágiles que permiten el ensayo error-mejora, prototipado rápido, proyectos de base tecnológica.

Durante el desarrollo del proyecto el cual fue en los meses de mayo a noviembre de 2018 (7 meses) y durante algunos meses del año 2019 (9 meses) los equipos de trabajo conformados por aprendices voluntarios del Área de Teleinformática de los programas de formación en Tecnólogo en Análisis y Diseño de Sistemas de Información (ADSI) y del programa de Tecnólogo en Mantenimiento de Equipos de Cómputo, diseño e instalación de Cableado Estructurado (TGOMNTOECOMPU) en fueron los siguientes:

Año 2018:

- 3 Aprendices monitores pertenecientes al programa de formación ADSI.
- 15 Aprendices
Ficha:1495084 TGOMNTOECOMPU.

Año 2019:

- 22 Aprendices
Ficha:1818830 TGOMNTOECOMPU.
- 25 Aprendices
Ficha:1694381 TGOMNTOECOMPU.
- 25 Aprendices
Ficha:1824452 TGOMNTOECOMPU.

Total, Aprendices: 90 a la fecha diciembre 10 2019.

En el año 2020 no hubo avances en el

proyecto debido al virus covid-19. Se tenía planeado ejecutar la versión 4 del prototipo con el grupo de 25 aprendices de la ficha: 18244452 TGOMNTOECOMPU.

Una característica importante de los grupos de aprendices voluntarios es que debido al tiempo en el cual ellos se encuentran estudiando (etapa de formación) y posteriormente van a las empresas (etapa productiva), con cada nuevo grupo de voluntarios se debe iniciar todo el proceso y todo lo proyectado en el cronograma de trabajo del punto 3.1 ya que cuando se encuentran en las empresas para los aprendices y los instructores es difícil poder coincidir en los tiempos de trabajo.

Con cada nuevo grupo de voluntarios se logró avanzar en una nueva versión del prototipo.

4. RESULTADOS

El proyecto se desarrolló de acuerdo con la planeación general, teniendo en cuenta que con cada nuevo grupo de aprendices se desarrollaría una nueva versión del prototipo, se logró llegar hasta la versión 3 con una funcionalidad verificable, dicha funcionalidad era la de que el prototipo como mínimo lograra reconocer una seña de lengua de señas colombiana (LSC), las versiones se describen a continuación:

4.1 Versión 1:

Durante el tiempo de desarrollo de la primera versión se llevó a cabo las capacitaciones a los aprendices, se definieron los sub temas de cada una de ellas, se crearon módulos de aprendizaje concretos, didácticos, rápidos, eficientes y esto se validó en los tiempos

de aprendizaje los cuales fueron cortos en los cuales los aprendices obtuvieron las habilidades en uso de sensores, programación de microcontroladores y uso de la impresora 3D.

De forma paralela a las capacitaciones, se validaron unos dispositivos propietarios que se habían solicitado como parte del proceso de licitación de los elementos del proyecto.

Se utilizó el dispositivo Myo para determinar su funcionalidad para el proyecto, se realizaron varias pruebas con el software original, se verificaron las patentes que tenía registrada, se investigó y se determinó como fue su fabricación.

Figura 3. Dispositivo Myo conectado a PC.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente la conclusión de la versión 1 fue que nos permitía determinar los movimientos de los dedos, pero para determinar la posición de la mano se requería de dos bandas por aprendiz con lo cual el sistema era muy costoso, adicionalmente se debían conectar a un computador para su funcionamiento en tiempo real, con esto, el dispositivo no cumplía con los aspectos que

queríamos tener en la interfaz, finalmente el fabricante descontinuo el dispositivo y ya no era posible tener actualizaciones del firmware ni del SDK para su desarrollo en un ambiente open source o usarlo con un Raspberry Pi.

En la primera versión se realizó un prototipo utilizando sensores Flex para determinar el Angulo de inclinación de los dedos de la mano y determinar la posición de cada dedo, con ello se realizaron proyectos para controlar luces y motores con diferentes dedos y ángulos de estos.

El prototipo funcionó para la manipulación de los dedos, para esta versión quedo pendiente determinar el movimiento de las manos.

Figura 4. Guante con sensores Flex.



Fuente: Elaboración propia

4.2 Versión 2:

En la versión 2 inicialmente utilizamos un dispositivo propietario pero que se puede utilizar en un sistema operativo libre, dicho dispositivo es una memoria USB con capacidad de procesamiento gráfico y

trabajo con redes neuronales, para poder hacer las pruebas y darle visión artificial al proyecto.

Utilizamos el Intel Movidius Neural Compute Stick with Myrian 2 VPU. La instalación se realizó en un computador con procesador Core i5 con juego de instrucciones AVX (Advanced Vector Expressions) con sistema operativo Ubuntu 16.0.6 ya que esos son eran los requerimientos, también lenguaje Python versión 3 y la librería Tensor Flow de Google.

También se realizó la instalación en un Raspberry Pi 3 el cual tenía todas las recomendaciones del fabricante de la Memory Stick de que se podía instalar sin problemas.

Posterior a la instalación de los dispositivos se iniciaron las pruebas de funcionamiento, se requería de una cámara para la toma de los datos, una red neuronal y entrenarla, al realizar dichas actividades nuevamente nos dimos cuenta que no cumplíamos con los parámetros establecidos al inicio del proyecto.

Lo anterior debido a que requeríamos de un Raspberry Pi conectado a una Memory Stick, adicionalmente una cámara y que el aprendiz estuviera de frente al dispositivo.

Figura 5. Instalación del SKD Intel Movidius.

```

root@movidius:~/workspace# ls
ncsdk
root@movidius:~/workspace# cd ncsdk/
root@movidius:~/workspace/ncsdk# ls
api      docs      install-opencv.sh  LICENSE  ncsdk.conf  uninstall-opencv.sh
ATTRIBUTIONS  examples  install.sh         Makefile  README.md   uninstall.sh
root@movidius:~/workspace/ncsdk# make install
./uninstall-opencv.sh
make install starting.
./install.sh
--2019-04-08 11:16:07-- https://downloadmirror.intel.com/28192/eng/NCSDK-1.12.01.01.tar.gz
Resolving downloadmirror.intel.com (downloadmirror.intel.com)... 23.52.113.120
Connecting to downloadmirror.intel.com (downloadmirror.intel.com)|23.52.113.120|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 966651 (944K) [application/x-gzip]
Saving to: 'NCSDK-1.12.01.01.tar.gz'

NCSDK-1.12.01.01.tar. 100%[=====] 944,00K 1,61MB/s in 0,6s

2019-04-08 11:16:09 (1,61 MB/s) - 'NCSDK-1.12.01.01.tar.gz' saved [966651/966651]

NCSDK-1.12.01.01/
NCSDK-1.12.01.01/ncsdk-x86_64/

```

Fuente: Elaboración propia

Luego de las pruebas con hardware propietario se realizó un brazo robótico con materiales reciclables como palos de helado de madera y trozos de canaletas de red de datos para hacer diferentes pruebas controlándolo por teclado y vía Bluetooth.

El brazo robótico se utilizó para enviar información y verificar los ángulos de giro, pero también para hacer pruebas de feedback en las cuales se le coloco la estructura a varios aprendices sobre el cuerpo y ellos movían normalmente el brazo, en tiempo real realizábamos la lectura de los diferentes ángulos generados, con esto sub proyectos logramos controlar secuencias de luces led al ubicar el brazo en cierta posición y ángulo.

Los sub proyectos que se realizaron fueron:

- Brazo controlado con potenciómetro.
- Brazo controlado con teclado.
- Brazo controlado vía Bluetooth.
- Brazo controlado con Angulo de giro de servomotor

Los datos resultantes de la ejecución de los sub proyectos con el brazo fueron que debemos realizar un control dinámico de las posiciones de acuerdo con un punto fijo inicial, de esta manera saber la posición del brazo del sordo en el espacio y generar frases con sonido para los oyentes.

Para el aprendiz, el uso de una estructura y los servomotores sobre su propio brazo se hizo incomodo con lo cual generaríamos una nueva versión con un nuevo grupo de aprendices voluntarios.

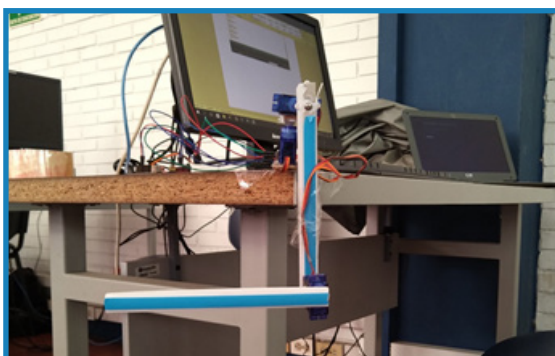


Figura 6. Brazo robótico sencillo.



Figura 7. Brazo robótico feedback sobre cuerpo humano.

4.3 Versión 3:

4.3.1 Estado del prototipo:

La traducción de lengua de señas a lenguaje español es un proceso de alta dificultad, esto teniendo en cuenta el aspecto médico, aspecto social y aspecto antropológico. Debido a estos aspectos, el desarrollo de la versión 3 se enfocó en el posicionamiento más exacto de la posición de las manos respecto a la cabeza y el tronco.

El prototipo utiliza un sensor IMU de 6 DOF y dos sensores Flex para poder traducir 3 señas al realizar el movimiento.

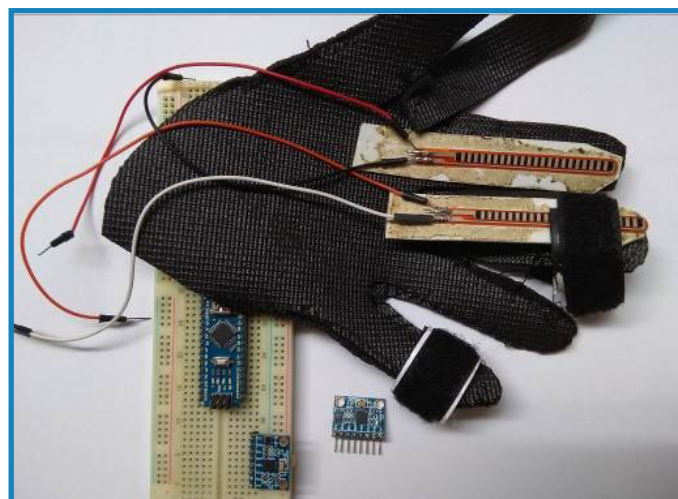


Figura 8. Sensores del prototipo.

El sensor se encuentra ubicado en la muñeca del usuario.



Figura 9. Prototipo con sensor sobre la muñeca.

Teniendo en cuenta la posición del sensor, matemáticamente se determina posición en el espacio de dicho sensor, ya que se encuentra en la muñeca, esto permite que se pueda manejar diferencias entre las personas que lo usan debido a su altura y la longitud de los brazos, se hace la lectura de los datos mediante el uso de la librería i2cdevlib.

```
//Calculo del angulo del Giroscopio
Gy[0] = GyX/G_R;
Gy[1] = GyY/G_R;
Gy[2] = GyZ/G_R;

dt = (millis() - tiempo_prev) / 1000.0;
tiempo_prev = millis();

//Aplicar el Filtro Complementario
Angle[0] = 0.98 * (Angle[0]+Gy[0]*dt) + 0.02*Acc[0];
Angle[1] = 0.98 * (Angle[1]+Gy[1]*dt) + 0.02*Acc[1];

//Integración respecto del tiempo para calcular el YAW
Angle[2] = Angle[2]+Gy[2]*dt;
```

Figura 11. Código fuente para ajustar la posición del sensor IMU 6DOF.

La librería i2cdevlib utilizada permite acceder mediante funciones a un lenguaje de alto nivel permitiendo utilizar variables que permiten manipular los datos de los registros de los sensores acelerómetro y giroscopio, de esta manera en tiempo real se hace la lectura de los valores del sensor acelerómetro y mediante el uso de la fórmula de la tangente se determina la posición del sensor.

4.3.2 Funcionamiento del prototipo:

Los parámetros configurados indican que el procedimiento de uso es el siguiente:

- 4.3.2.1.-- Se enciende el dispositivo.
- 4.3.2.2.-Se debe ubicar la mano de forma extendida a la altura del hombro

```
//A partir de los valores del acelerometro, se calculan los angulos Y, X
//respectivamente, con la formula de la tangente.
Acc[1] = atan(-1*(AcX/A_R)/sqrt(pow((AcY/A_R),2) + pow((AcZ/A_R),2)))*RAD_TO_DEG;
Acc[0] = atan((AcY/A_R)/sqrt(pow((AcX/A_R),2) + pow((AcZ/A_R),2)))*RAD_TO_DEG;
```

Figura 10. Formula de la tangente para calcular una posición en sensor IMU 6 DOF.

Luego se realiza la lectura de los ángulos de giroscopio, se aplica un filtro complementario, se realiza la integración respecto al tiempo y la velocidad de aceleración para poder calcular el eje Z (Yaw) ya que el IMU de 6 DOF carece de dicha funcionalidad de forma predeterminada y se debe calcular.

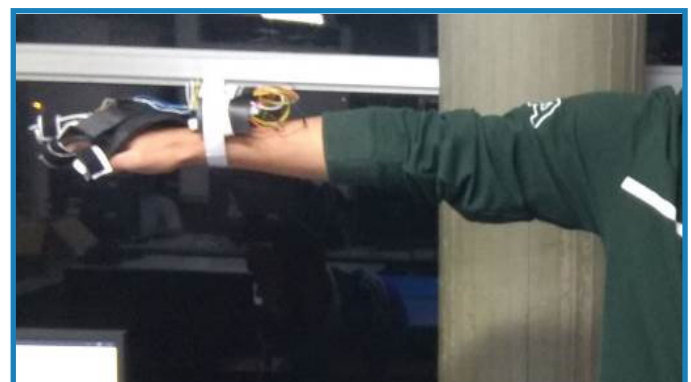


Figura 12. Ubicación para inicializar el prototipo

4.3.2.3.-- Posteriormente se hace la lectura para analizar los datos matemáticos y determinar una posición del brazo, teniendo en cuenta dicha posición determina la palabra a traducir.

4.3.2.4.- Luego de encontrar los parámetros, estos se visualizan en la pantalla y emite el mensaje con la palabra traducida

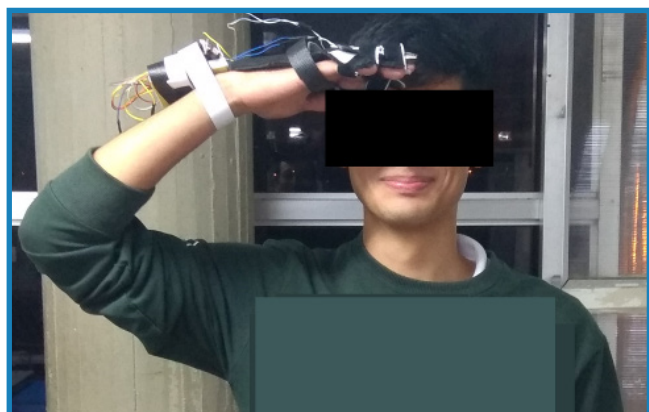


Figura 13. Prototipo reconociendo una palabra en LSC.

Actualmente el prototipo permite traducir 3 señas, identificándolas adecuadamente. Es importante tener en cuenta que este proceso ha llevado un desarrollo, que implica pruebas, mejoras, uso de diferentes elementos en búsqueda de obtener los mejores resultados posibles. Para la traducción de una nueva seña se debe efectuar la programación respectiva y agregarla al código fuente de la interfaz.

Prototipo funcional que es capaz de transmitir los movimientos del usuario a la interfaz gráfica desarrollada. Estos movimientos, son entendidos como lengua de señas y se traduce a lenguaje español. La interfaz de Kinect puede traducir 4 señas y la interfaz

del prototipo puede traducir 3 señas de acuerdo con LSC.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el desarrollo de la versión actual del prototipo se determinaron oportunidades de mejora en cuanto al software y el hardware a utilizar.

Dichas oportunidades hacen referencia a mejorar el hardware ya que los sensores utilizados en el momento tienen una limitante de lectura de posicionamiento de eje z con lo cual se debe calcular mediante fórmulas matemáticas y utilizando sensores adicionales, lo ideal es un IMU que maneje 9 DOF. Para esto se plantea una nueva versión (Versión 4) utilizando como mínimo un sensor MPU-9250.

Una de las limitaciones en cuanto al desarrollo del proyecto es el uso de herramientas de software para las cuales no se disponía del tiempo necesario para que los aprendices se apropiaran de ellas y por lo tanto debían ser desarrolladas por parte de los instructores encargados de los proyectos. Entre estas herramientas tenemos: lenguaje de programación Python, librerías javascript, lenguaje html5.

Se recomienda ejecutar una versión 4, se deja planteada de la siguiente manera: Un sensor IMU 9DOF con comunicación inalámbrica wifi 802.11 para cada componente del brazo y con un servidor (Raspberry Pi) que centraliza los datos matemáticos, los procesa y los convierte en información para convertirla a voz.

Se recomienda complementar el desarrollo con hardware propietario agregando más palabras al código fuente en lenguaje C# publicado en GitHub.

Referencias

- D. Ebehard and E. Voges, (1984). "Digital single sideband detection for interferometric sensors," presented at the 2nd Int. Conf. Optical Fiber Sensors, Stuttgart, Germany.
- E. Clarke. (1950). Circuit Analysis of AC Power Systems, vol. I. New York: Wiley, p. 81.
- E. E. Reber, R. L. Mitchell, and C. J. Carter. (1968). "Oxygen absorption in the Earth's atmosphere," Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR0200 (4230-46)-3.
- E. H. Miller. (s.f.). "A note on reflector arrays," IEEE Trans. Antennas Propagat., to be published.
- G. Brandli and M. Dick. (1978). "Alternating current fed power supply," U.S. Patent 4 084 217.
- G. O. Young. (1964). "Synthetic structure of industrial plastics," in Plastics, 2nd ed., vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, pp. 15-64.
- IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings. (1995). IEEE Standard C57.19.100-1995.
- J. F. Fuller, E. F. Fuchs, and K. J. Roesler. (1988). "Influence of harmonics on power distribution system protection," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, pp. 549-557.
- J. Jones. (1991). Networks. (2nd ed.). <http://www.atm.com>
- J. L. Alqueres and J. C. Praca. (1991). "The Brazilian power system and the challenge of the Amazon transmission," in Proc. IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conf., pp. 315-320.

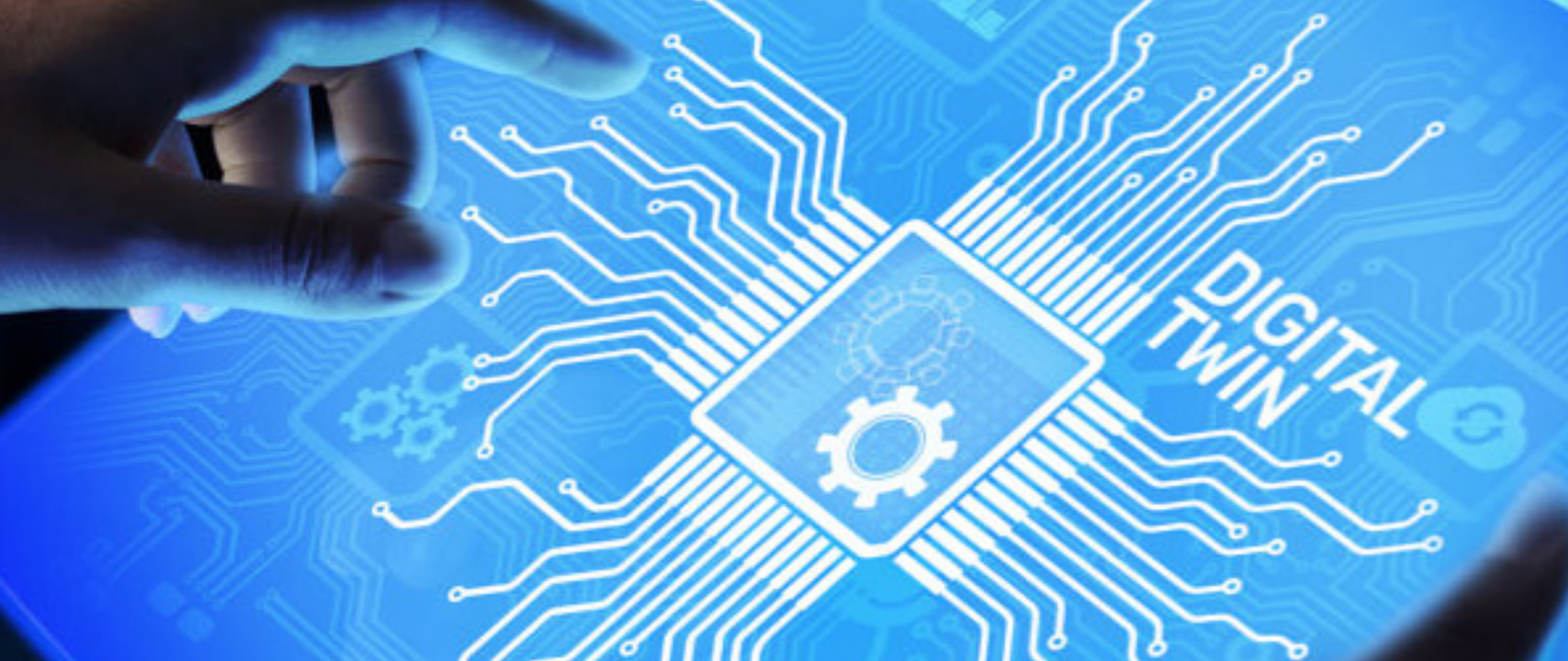
Process Corp., Framingham, MA. (s.f.).

Intranets: Internet technologies deployed behind the firewall for corporate productivity. Presented at INET96 Annu. Meeting. <http://home.process.com/Intranets/wp2.htm>

R. J. Vidmar. (1992). On the use of atmospheric plasmas as electromagnetic reflectors. IEEE Trans. Plasma Sci. 21(3), pp. 876-880. <http://www.halcyon.com/pub/journals/21ps03-vidmar>.

S. Hwang. (1997). "Frequency domain system identification of helicopter rotor dynamics incorporating models with time periodic coefficients," Ph.D. dissertation, Dept. Aerosp. Eng., Univ. Maryland, College Park.

S. L. Talleen. (1996). The Intranet Architecture: Managing information in the new paradigm. Amdahl Corp., Sunnyvale, CA. <http://www.amdahl.com/doc/products/bsg/intra/infra/html>



DESARROLLO DE UN GEMELO DIGITAL DE UNA FÁBRICA DE REFRESCOS

Development of a digital twin of a drink factory

RESUMEN

Los gemelos digitales son una de las tecnologías disruptivas presentadas desde la industria 4.0. La posibilidad de tener una representación digital de un sistema de producción brinda la oportunidad de simular y realizar análisis de los procesos industriales, detectar posibles fallas antes de que sucedan, evitando mantenimientos correctivos y además la posibilidad de mejorar su eficiencia generando estrategias de funcionamiento diferentes a las ya establecidas. A partir de la integración de las características técnicas de las plantas de producción, datos históricos de su comportamiento en el tiempo y la aplicación de técnicas de analítica, es posible obtener la representación digital de un sistema real. En este artículo se presenta el diseño e implementación del sistema digital de una fábrica de refrescos didáctica, conformada con equipos industriales. Se realiza

- Geraldine Bolaños Martínez
geraldine.bolanos@uao.edu.co - CEAI
- Ronny Alexis Londoño Martínez
ronny.londono@uao.edu.co - CEAI
- William Gutiérrez Marroquín
william.gutierrez@sena.edu.co - CEAI

AUTORES

la implementación de la representación digital de la fábrica didáctica, a partir de la recopilación de datos técnicos, modelado de piezas, adaptación de señales, diseño de la estrategia de control, comunicación entre dispositivos y validación del gemelo digital. El resultado obtenido es el gemelo digital, que en apariencia y funcionamiento simula con buena aproximación a la planta real. Con este modelo digital es posible

realizar técnicas de puesta en marcha del proceso de manera virtual y establecer comunicación con el sistema real.

Palabras Claves: Control, diseño, gemelo digital, modelado, puesta en marcha virtual, simulación, sistemas ciberfísicos.

ABSTRACT

Digital twins are one of the disruptive technologies introduced since Industry 4.0. The possibility of having a digital representation of a production system provides the opportunity to simulate and perform analysis of industrial processes, detect possible failures before they happen, avoiding corrective maintenance and also the possibility of improving its efficiency by generating operating strategies other than those already established. From the integration of the technical characteristics of the production plants, historical data of their behavior over time and the application of analytical techniques, it is possible to obtain the digital representation of a real system. This article presents the design and implementation of the digital system of a didactic soft drink factory, made up of industrial equipment. The implementation of the digital representation of the didactic factory is carried out, based on the collection of technical data, modeling of parts, adaptation of signals, design of the control strategy, communication between devices and validation of the digital twin. The result obtained is the digital twin, which in appearance and function closely simulates the real plant. With this digital model, it is possible to carry out virtual process start-up techniques and establish communication

with the real system.

Keywords: Control, design, digital twin, modeling, virtual commissioning, simulation, cyber-physical systems.

1. INTRODUCCIÓN

La industria 4.0 se desarrolla bajo el concepto de innovaciones tecnológicas como el internet de las cosas, la computación en la nube, el big data, la fabricación digital, la inteligencia artificial, entre otras, permitiendo que incluso los robots más complejos se conecten de forma remota a sistemas informáticos que supervisan los procesos físicos con muy poca intervención humana (L. Boone, 2019), (L. Joyanes, 2018). Las integraciones de estas tecnologías conforman los sistemas ciberfísicos, los cuales son la unión del mundo real con el mundo digital incorporando componentes físicos con elementos de cómputo, almacenamiento remoto de información y redes de comunicación; que además basan su funcionamiento en el concepto de “sistema de sistemas”. Las computadoras y redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, los cuales retroalimentan y afectan los cálculos y viceversa. Los sistemas ciberfísicos permiten ampliar la capacidad, adaptabilidad, escalabilidad, resiliencia, seguridad y usabilidad de los sistemas industriales actuales (D. U. Campos, 2018), (S. Sunder, 2012).

El aspecto clave de esta tecnología de ciberfísicos es el gemelo digital, una copia virtual de un sistema físico que simula su funcionamiento en tiempo real para optimizar procesos, prevenir errores y

analizar diferentes escenarios. Hasta hace pocos años el gemelo digital no era recurrente debido a las limitaciones de las tecnologías digitales de las empresas, sin embargo, el incremento de la disponibilidad y accesibilidad de los datos operativos en tiempo real, la reducción en los costos de implementación y el mejoramiento de la computación, tanto en las capacidades de IA como en la potencia de cómputo, han llevado a combinar las tecnologías de la información y las tecnologías operativas dando paso al gemelo digital, el cual permite a las empresas tener una huella digital de sus productos desde el diseño hasta el final de su ciclo de vida lo que amplía el conocimiento tanto del producto como del sistema que lo construye, esto además aumenta el valor en la comercialización, en el mejoramiento de los procesos, en la reducción de defectos y en nuevos modelos de negocio emergentes (A. Parrott & L. Warshaw, 2017), (C. Koulamas y A. Kalogeras, 2018).

El gemelo digital desarrolla un papel importante en la fabricación inteligente integrando diferentes etapas de manufactura y digitalizando los procesos a través de múltiples tecnologías con el objetivo de comunicar, analizar, predecir y optimizar los activos físicos (Q. Qi & F. Tao, 2018).

2. ANTECEDENTES TEORICOS

Los gemelos digitales son una tecnología que están en constante desarrollo y que han ido ganando popularidad a través de los últimos años; incluso la consultora Gartner la ha posicionado entre las 10 principales tendencias tecnológicas en los años 2017, 2018 y 2019 (Kasey Panetta,

2016), (Kasey Panetta, 2017), (Kasey Panetta, 2018); incluyendo además que la consultora planteó una relación entre el gemelo digital de una organización con la hiperautomatización, una de las tendencias tecnológicas del 2020 (Kasey Panetta, 2019). La idea del gemelo digital no surgió recientemente, las primeras definiciones se le atribuyen a Michael Grieves por su presentación acerca de gestión de ciclo de vida del producto a inicios del año 2000 (J. Camposano, K. Smolander, & T. Ruippo, 2021), (M. Grieves & J. Vickers, 2016). Desde ese tiempo empezó un crecimiento en la publicación de literatura acerca del concepto del gemelo digital, debido a esto se ha descrito de diversas formas, aun así la definición comúnmente aceptada es “una representación virtual interconectado a un sistema físico y actualizado mediante el intercambio de información” (E. VanDerHorn & S. Mahadevan, 2021), (M. Liu et al., 2020).

El concepto del gemelo digital permite crear y ampliar modelos de negocio basado en la supervisión y el control de sistemas; permitiendo gestionar ciclos de vida, estimar tiempos de vida, acelerar tiempos de producción, integrar enfoques de trabajo o probar escenarios en simulación (Malakuti et al., 2019), (A. Mussomeli et al., 2018). Sin embargo, aplicar este tipo de tecnología debe estar respaldado por un previo estudio sobre el valor agregado y la viabilidad de esta decisión para conocer su potencial y sus limitantes; y por consiguiente evitar tomar riesgos como añadir complejidad adicional a un proceso, aumentar costos en integración de nuevas tecnologías o directamente no satisfacer las necesidades necesarias (Sony Shetty, 2017). En (A.

Rasheed, O. San, & T. Kvamsdal, 2020) se exponen y analizan los desafíos que el gemelo digital debe abordar especialmente desde una perspectiva de modelado, así como las tecnologías que se deben desarrollar para tratar esos desafíos.

Dentro de las áreas de aplicación del gemelo digital hay sectores que pueden verse altamente beneficiados gracias a las ventajas que ofrece esta tecnología, como es el caso del sector de la salud que puede aprovechar la aparición de dispositivos digitales, almacenamiento organizado de dato, medicación personalizada y dirigida (A. Rasheed, O. San, & T. Kvamsdal, 2020). También se han expuesto ideas novedosas e innovadoras como por ejemplo la creación de prototipos de gemelos digitales para la realización de cirugías remotas (H. Laaki, Y. Miche, & K. Tammi, 2019). En (K. Bruynseels, F. Santoni, & J. van den Hoven, 2018) se detalla la aplicación en el cuerpo humano para la representación dinámica a nivel molecular, fisiológico y de estilo de vida a lo largo de la vida, obteniendo información biofísica importante de la persona. En (E. Oran et al., 2009) se propone el concepto de un hombre computacional, el cual permitirá ejecutar los principales sistemas fisiológicos del cuerpo humano, lo que permitirá analizar e indagar información relevante de estas zonas.

Otro sector beneficiado a futuro es la meteorología especialmente por la capacidad de prevención de los gemelos digitales basados en el manejo del big data. En (J. Lazo et al., 2011) se describe que la sensibilidad climática afecta en la producción económica de EE.UU, abriendo

camino a una aplicación del gemelo digital para estimar la variabilidad climática a partir de datos e historiales económicos y observaciones meteorológicas de años anteriores. Este tipo de aplicaciones para predecir datos es muy común en escenarios con gran variabilidad en alguno de sus aspectos. (P. Bauer, A. Thorpe & G. Brunet, 2015), (R. Ronda et al., 2017) son otros ejemplos de esto.

En las industrias de fabricación predomina la necesidad por abarcar modelos de manufactura que permitan la personalización del producto, pero además se buscan otras características como los servicios en la nube (T. Borangiu et al., 2019); el uso de macrodatos o big data que apoye el diseño, la fabricación y el servicio del producto (F. Tao et al., 2018); o como en (F. Tao et al., 2019) que se concluyó que el área de aplicación más popular es en el desarrollo de sistemas de pronóstico avanzado y gestión de la salud.

En el sector académico se puede lograr un impacto, principalmente indagando en aplicaciones donde predomine la personalización del aprendizaje y se optimice la enseñanza de los alumnos ajustándose a las necesidades de cada uno (H. Yu et al., 2017). Hay muchas propuestas donde se mejora el método de aprendizaje a través del manejo de datos; el mejoramiento de los medios y la disponibilidad de los recursos; y la implementación de entornos inteligentes (Y. Mitrofanova, A. Sherstobitova, & O. Filippova, 2019), (H. Peng, S. Ma, & J. Spector, 2019), (M. Abdel-Basset et al., 2019); las cuales se abordan desde la inteligencia artificial. Aun así la IA es una tecnología compatible con el

gemelo digital, y por lo tanto la integración de ambas es viable. Con la combinación de ambas tecnologías se vuelve posible la creación de tecnologías novedosas; en (S. Sepasgozar, 2010) se describen cinco tecnologías que incluyen además realidad aumentada y virtual agregando valor a la literatura que se imparte en el ámbito académico. Y así las áreas de aplicación del gemelo digital se extienden por muchos más sectores.

Por último, al momento de implementar un gemelo digital, la discusión acerca de que arquitectura usar toma importancia. Se pueden encontrar distintos artículos enfocados en definir una arquitectura que permita implementar y usar de manera eficiente un gemelo digital (S. Malakuti & S. Grüner, 2018), (K. Alam & A. El Saddik, 2017), (B. Ashtari et al., 2019), (Oracle Cloud, s.f.). Hay cuatro aspectos fundamentales; la estructura interna y su contenido; las APIS, que permitan el procesamiento e intercambio de información; una integración eficiente entre la contraparte física y digital; y un entorno de ejecución (S. Malakuti & S. Grüner, 2018). Aprovechando la integración del modelo de referencia de un sistema ciberfísico basado en la nube se logra escalar y potenciar el almacenamiento y procesamiento de datos (K. Alam & A. El Saddik, 2017). En (B. Ashtari et al., 2019) se discuten diferentes arquitecturas existentes y se propone una para gemelos digitales aplicado a un sistema de automatización inteligente. En (K. Park et al., 2020) se describe una arquitectura dedicada a la producción personalizada resolviendo las limitantes que se exponen relacionadas con la implementación de ese concepto.

3. METODOLOGÍA

El proceso de creación del gemelo digital se basó en recopilación de información, modelado de la planta, adaptación de sensores y actuadores al modelo, diseño del programa de control, comunicación entre modelo y planta, y por último la validación del proyecto, con el fin de lograr una puesta en marcha virtual o virtual commissioning (J. Brazina et al., 2020), (M. Grethler, J. Ovtcharova, & M. Marinov, 2020), (G. Barbieri et al., 2021).

Los softwares que se usaron en el proyecto fueron Solidworks, Siemens NX MCD, TIA Portal y Siemens PLCSIM Advanced.

En la primera etapa del proyecto se revisa la documentación técnica de la planta de Festo MPS PA en donde se analizan las hojas de datos de los componentes, los diagramas P&ID de cada estación y los manuales del sistema para conocer el funcionamiento y los elementos que conforman cada parte de la fábrica (Sistema completo MPS® PA 204, s. f.), (Technical details MPS, s. f.). En la figura 1 se puede ver el diagrama P&ID de la estación de llenado en el cual se pueden identificar los sensores y actuadores de la misma, así como la función y la posición de los elementos dentro de la planta. La figura 2 muestra los datos técnicos generales para todas las estaciones del sistema desde el cual se puede obtener información relevante para el diseño del gemelo digital como el caudal de la bomba, el volumen de los depósitos y las medidas de los tubos.

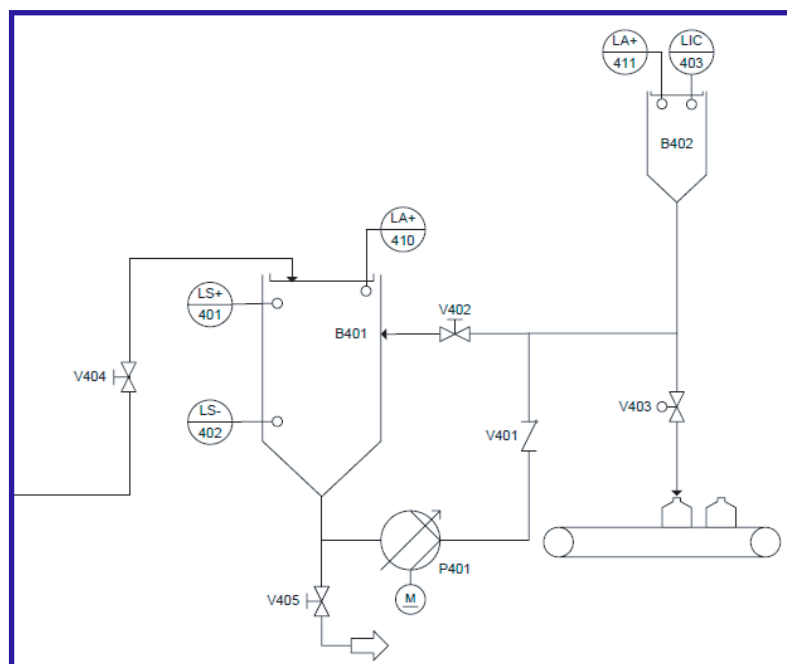


Figura 1. P&ID de la planta de llenado.

Una vez se identifica y reconoce cada componente del sistema se modela la planta, Esta etapa se desarrolla en Solidworks, aprovechando la versatilidad de esta herramienta. El modelado de los componentes se realiza con base a las medidas tomadas de la planta física y las hojas de datos de los elementos, además se usan modelos CAD de algunos componentes proporcionados por Festo y su catálogo virtual PARTdataManager. El ensamblaje se realiza de tal manera que coincidan con la forma en que está ordenada la planta real. En este software también se modela el elemento que representa el agua durante la simulación.

Parámetros		Valores
Presión de funcionamiento máxima en los tubos		50 KPa (0.5 bar)
Alimentación de tensión para la estación		24 V DC / 4,5 A
Panel de prácticas perfilado		700 x 700 x32 mm
Caudal de la bomba		0...6 l/min
Depósito de dosificación		3 l máx.
Depósito principal		10 l máx.
Sistema de tubos flexibles		DN15 (φ, 15mm)
Entradas digitales		8
Salidas digitales		6
Entradas analógicas		1
Salidas analógicas		1 (2)
Cantidad de recipientes		2
Margen de señales para actuadores	Bombas (0...24 VDC) con accionamiento del motor (digital)	On/Off (tensión de mando 24 VDC) 0...10 V
Margen de los emisores de señales	Sensor de ultrasonido (analógico), eléctrico	Margen de medición 500...150 mm p...10 VDC

Tabla 1. Datos técnicos de las estaciones.

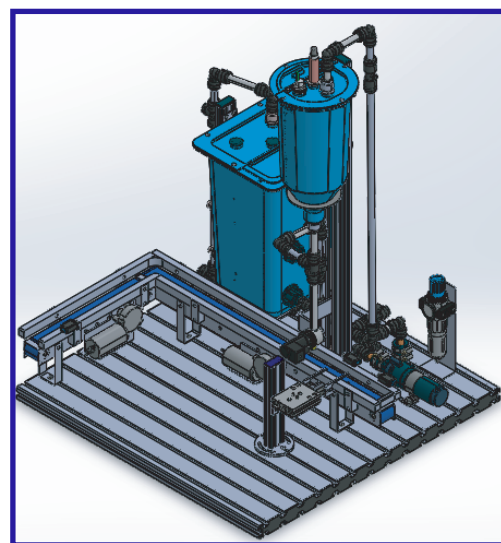


Figura 2. Modelado de la estación de llenado. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

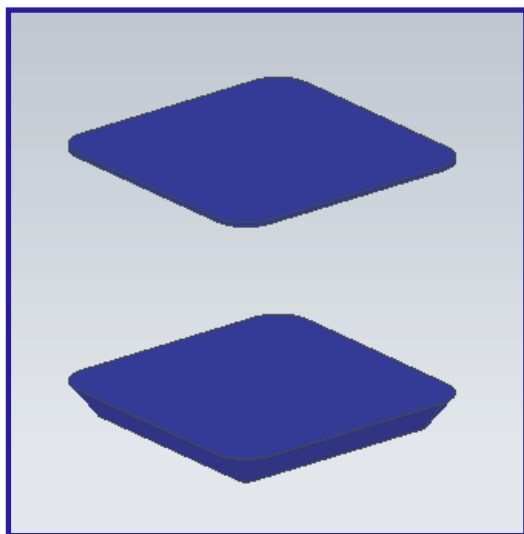


Figura 3. Modelado de la representación del agua. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

Con respecto a NX 12 MCD, la revisión inicial de los manuales de operación de la aplicación (Siemens, s.f.), (Siemens ingennity for life, s.f.) confieren un mayor entendimiento en su uso. Este software permite dotar al modelo de la fábrica de todos los elementos necesarios para representar el proceso de funcionamiento de la misma, tales como sensores, actuadores y la física básica, junto con las restricciones de relación de los componentes que conforman el sistema, se establecen configuraciones para modificar la transparencia y el color de los depósitos. Para lograr esta etapa primero se definen los elementos que influyen directamente en el proceso a simular como cuerpos rígidos y de colisión, es decir que se les añade masa y una superficie capaz de interactuar con otras. Luego se crean las juntas y restricciones que limitan el movimiento de algunos elementos. Una

vez con la física básica y las restricciones creadas se añaden los sensores y controles para simular el comportamiento de sus contrapartes físicas. Se incluyen otros componentes como fuente de objetos, transformador de objetos, transmisores, etc. con el fin de recrear el proceso de la planta. Con todos los elementos necesarios para replicar el proceso de la fábrica, se definen todas las señales para comunicarse con el programa de control, que constan del estado de los sensores y los actuadores. Con las señales se crean las condiciones que controlan la activación de los componentes en el gemelo digital y rigen la secuencia de funcionamiento.

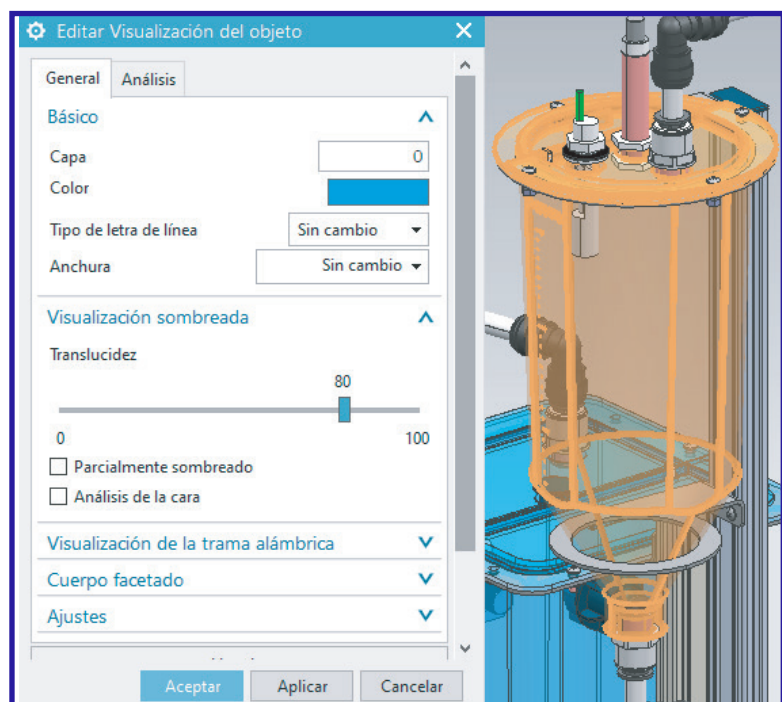


Figura 4. Modificación de la visualización de los depósitos. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

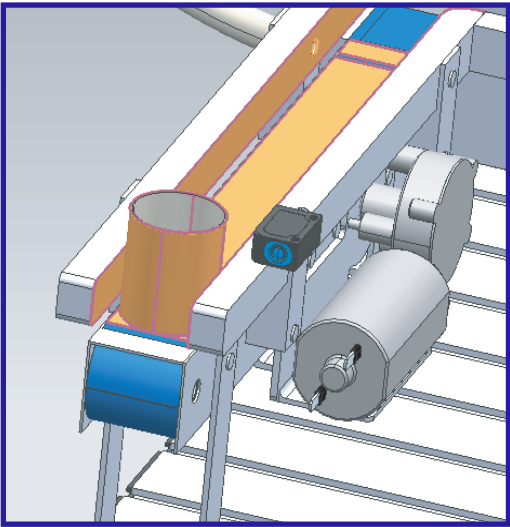


Figura 5. Configuración de cuerpos de colisión. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

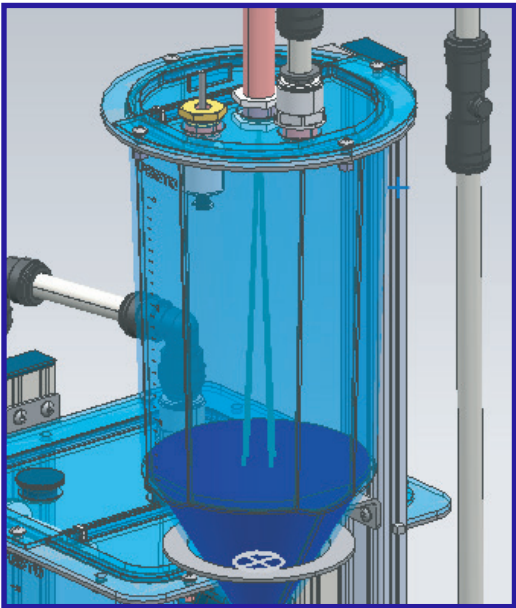


Figura 6. Sensor de distancia. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

En el TIA Portal se implementa el código y la interfaz de usuario que controla al gemelo digital de acuerdo a su secuencia de funcionamiento. El código está organizado

en cuatro bloques de programa dentro del bloque Main, cada uno controlando el proceso de una estación y que constan a su vez de los bloques que rigen el algoritmo del sistema. La interfaz de usuario tiene un modo manual y uno automático.

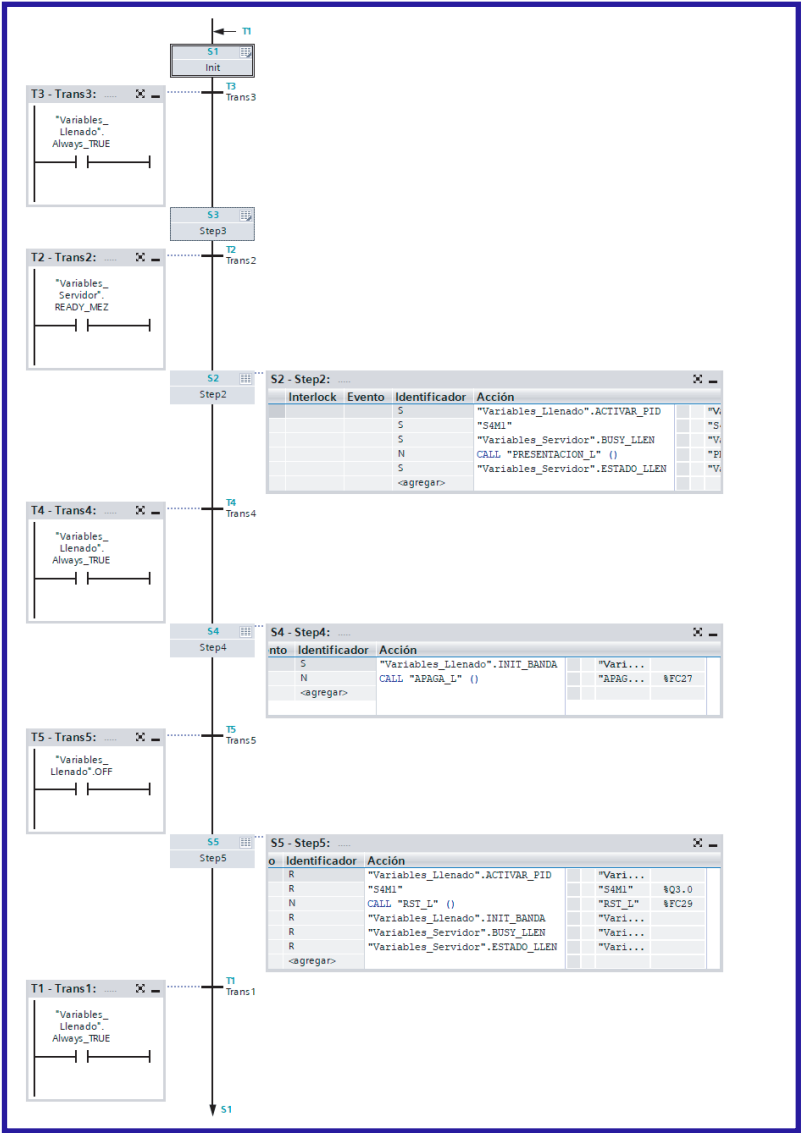


Figura 7. Grafcet de estación de llenado. [Imagen capturada del programa TIA Portal].

Para enlazar las señales del modelo de NX y las variables del TIA Portal se utiliza

la aplicación PLCSIM Advanced mediante la cual se crea una instancia de un PLC virtual en donde se carga el programa de control previamente compilado para la comunicación entre el modelo y el control.

Para la validación del proyecto se ponen en marcha la planta física y el gemelo digital de manera simultánea cargando el código tanto en el PLC virtual y el PLC físico y a través del sistema de supervisión implementado se puede interactuar con los dos sistemas y visualizar su comportamiento a la vez.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño del gemelo digital se basa en la réplica de la apariencia de la planta física y en la simulación de su proceso principal, por lo que es esencial el estudio de las especificaciones técnicas de cada componente de la planta y el funcionamiento de su rutina. La información recopilada de los manuales y hojas de especificaciones suministradas por la empresa Festo, permite diseñar un modelo 3D fiel de cada estación de la fábrica de refrescos; con estos modelos es posible simular cada uno de los procesos unitarios de la planta física, como lo son el proceso de filtración, calentamiento, mezcla y llenado.



Figura 8. Planta física.

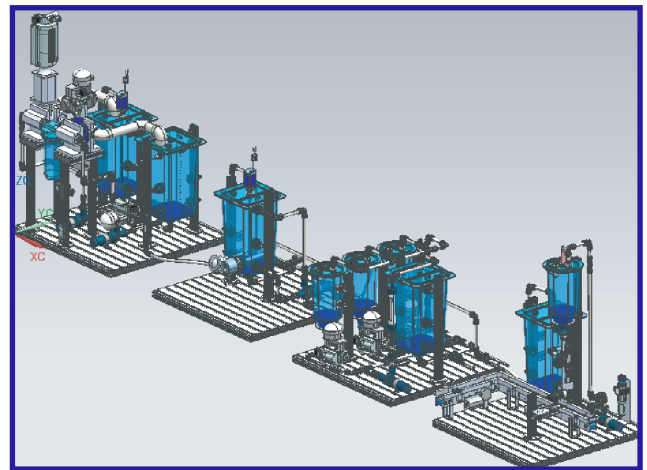


Figura 9. Planta virtual. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

En las figuras 9 y 10 se muestran la planta física y la planta virtual respectivamente y en ellas se logra apreciar y comparar la similitud entre el mundo real y digital. En el funcionamiento principal de la máquina se destacan dos tipos de procesos, el llenado de agua en los depósitos (Figura 11) y el recorrido de los vasos en la banda transportadora (Figura 12). Ambos procesos son los que se simulan en el gemelo digital, estos se controlan bajo ciertas condiciones de activación en base a los actuadores y

sensores del sistema.

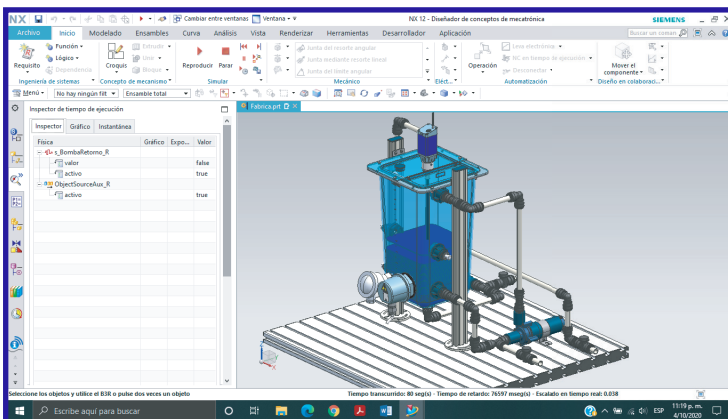


Figura 10. Llenado de agua en los depósitos. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

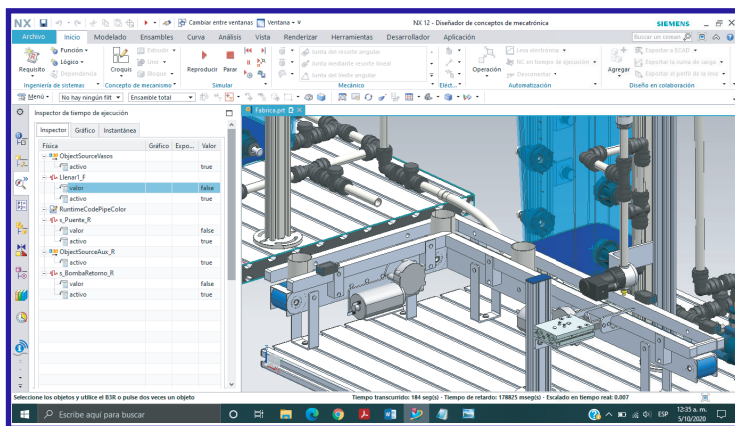


Figura 11. Recorrido de los vasos en la banda transportadora. [Imagen capturada del programa NX 12 MCD].

El gemelo digital funciona de manera simultánea con la planta física, controlados respectivamente con un PLC virtual (Figura 13) y uno físico con el programa de control cargado en cada uno de ellos. El programa consta del código en lenguaje ladder y una interfaz de usuario, que controla la activación de los actuadores de la máquina.

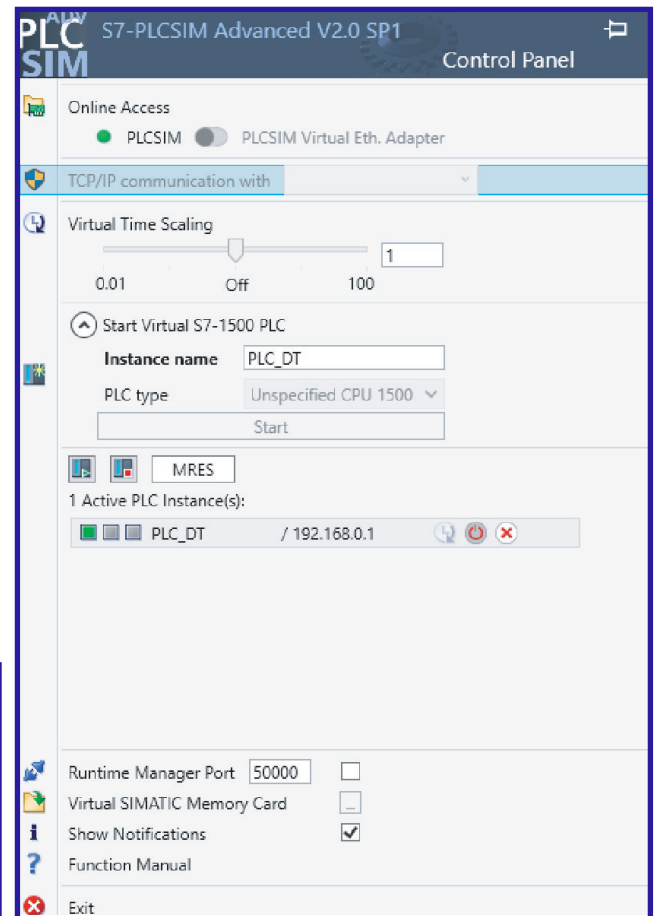


Figura 12. PLCSIM – PLC virtual. [Imagen capturada del programa PLCSIM].



Figura 13. Interfaz de usuario. [Imagen capturada del programa TIA Portal].

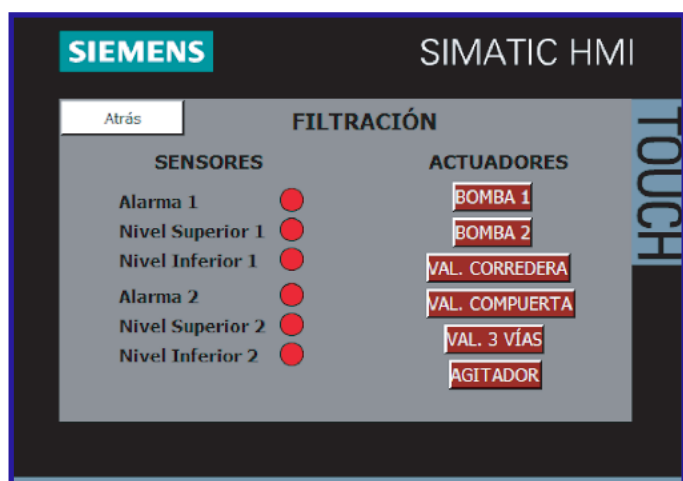


Figura 14. Interfaz de usuario modo manual.
[Imagen capturada del programa TIA Portal].

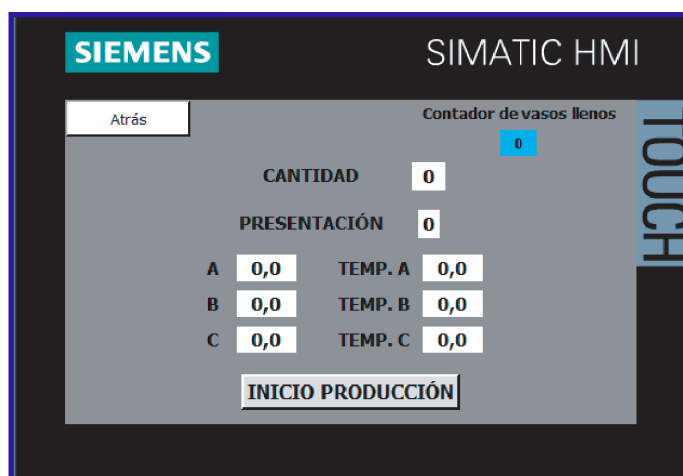


Figura 15. Interfaz de usuario modo automático.
[Imagen capturada del programa TIA Portal]

La interfaz de usuario (Figura 14), permite el accionamiento en forma manual y automática del sistema de control. En el modo manual (Figura 15) se puede controlar en forma individual los actuadores de una estación de la planta, a la vez que se puede visualizar el estado de los sensores. El modo automático (Figura 16) permite poner en funcionamiento

el proceso general del sistema e ingresar los parámetros necesarios, cantidad de productos, presentación y receta.

El gemelo digital desarrollado funciona como un sistema de puesta en marcha virtual que permite principalmente preparar el entorno físico relacionado, observar los tiempos de producción y simular escenarios. Al tratarse de un sistema que usa un líquido como su flujo de material principal, no se presentan cálculos de esfuerzos; además teniendo en cuenta las herramientas propias del software (Siemens NX MCD) tampoco hay análisis de temperatura, presión o flujo.

Un gemelo digital diseñado con tecnologías más potentes aporta en la mejora de la competitividad de los modelos de negocio, los procesos de toma de decisiones, la calidad de la producción y la innovación continua dentro del entorno de la industria, así como en la reducción de costes, en el tiempo de producción y en la prevención de riesgos. De esta manera se pueden probar todas las tecnologías antes de aplicarlas e integrarlas en el mundo real evaluando pros y contras (Redacción APD, 2020), (Jan Howells, 2019).

Es indiscutible que a nivel industrial, la reducción de tiempos y costos es la mayor ventaja de integrar el gemelo digital a los procesos, permitiendo poseer sistemas ciberfísicos capaces de realizar puestas en marcha virtual de sistemas de fabricación, lo que se traduce en el incremento de la calidad final y en toma de decisiones acertadas (M. Ayani, M. Ganebäck, & A. H. C. Ng, 2018), (Q. Qi et al., 2018), (K. Lim, P. Zheng, & C. Chen, 2020).

La implementación del gemelo digital se realiza en un sistema didáctico de fabricación, pero esto no limita su aplicación a un entorno industrial real, dada las características técnicas de los componentes del sistema didáctico y las aplicaciones utilizadas. El modelo digital consta de todos los componentes mecánicos e hidráulicos que actúan en el proceso permitiendo identificar y analizar cómo se compone la planta, listar los componentes o estudiar las funcionalidades de los elementos en el proceso. Por otro lado, la conexión entre los sensores y actuadores virtuales y físicos permite seguir de cerca el proceso que se lleva a cabo en la fábrica; incluso si no se dispone de la planta física, se pueden simular escenarios e incluso cambiar el valor de ciertas características en la simulación, como por ejemplo variar el caudal de entrada del primer tanque. Con esto dicho, el proyecto se puede seguir complementado a futuro para lograr una eficiencia mayor en los objetivos que se plantean.

Para lograr emular la planta virtual se hace indispensable el disponer de herramientas con alto desempeño computacional y una buena capacidad de almacenamiento. El modelo creado usa en promedio 90 niveles de agua por tanque lleno, es decir que añade un modelo CAD adicional cada vez que se emule el aumento del nivel del agua de los tanques para representar una porción del agua. Esto representa un gran carga computacional que se debe sobrellevar con un equipo capaz de correr la emulación del gemelo digital de manera eficiente, ya que el funcionamiento en paralelo de la planta física y virtual es una de los aspectos más importantes del proyecto.

5. CONCLUSIONES

- Se logra analizar de manera precisa las ventajas que un gemelo digital tiene a la hora de ser implantado en el sector industrial. Las principales ventajas de esta tecnología son la disminución de costes y tiempo producción, es decir, la optimización de procesos, el poder controlar las operaciones y poder simular cambios o mejoras en las máquinas sin necesidad de usar la planta física.
- Las tecnologías emergentes de la industria 4.0 se pueden combinar entre sí para un mejor rendimiento y disminuir la complejidad de conexión, como es el caso de la relación entre el gemelo digital y el virtual commissioning que se dio durante desarrollo de este proyecto.
- En cuanto a la parte de diseño tanto el software NX MCD, como Solidworks cumplen funciones específicas en el proceso de elaboración del gemelo digital. Por un lado Solidworks permitió modelar y ensamblar de manera fácil y rápida los modelos 3D; mientras que NX MCD permitió añadir las funcionalidades y simulaciones del gemelo digital de manera más completa.
- Al tener la máquina real ya lista, es decir, diseñada y montada facilita enormemente el desarrollo de su copia digital, debido a que se tienen a la mano planos, mediciones, especificaciones y se sabe la funcionalidad de cada parte de la máquina, y además se tiene la posibilidad de poder estudiar formas factibles de optimización de diferentes factores.
- El diseño de un gemelo digital se ve

mayormente beneficiado cuando se encuentra la información suficiente para modelar las piezas de una planta de manera fiel a la realidad al igual que al conocer en mayor profundidad el funcionamiento de la planta y como trabajan todas sus partes lo que permite crear una lógica de control mejor estructurada que abarque todas las funcionalidades del activo físico. Aunque este último aspecto también se ve afectado por la capacidad de la máquina en la que se simula el gemelo digital.

- Se espera que la implementación del modelo digital facilite el aprendizaje fuera de línea de un proceso con características industriales, para posteriormente utilizar el sistema físico real, esto garantiza una mejor utilización de los recursos disponibles y la posibilidad de entrenamiento evitando posibles daños a los sistemas reales.
- Como sugerencia para futuros proyectos relacionados a gemelos digitales, es recomendable analizar los recursos computacionales con los que se cuenta antes de iniciar un proyecto que pueda requerir mayor potencia de la que se dispone.

AGRADECIMIENTOS

En este apartado queremos agradecer a Ángela Patricia Ibarra Quiroga, subdirectora del Centro de Electricidad y Automatización Industrial (CEAI) por brindarnos la oportunidad de realizar nuestra pasantía en la institución a cargo para optar por el título de ingeniero mecatrónico en la Universidad Autónoma de Occidente.

Referencias

- A. Mussomeli, B. Meeker, S. Shepley, and D. Schatsky. (2018). "Signals for Strategists Expecting digital twins Adoption of these versatile avatars is spreading across industries."
- A. Parrott y L. Warshaw. (2017). "Industry 4.0 and the Digital Twin," Deloitte University Press, 2017. <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>
- A. Rasheed, O. San, and T. Kvamsdal. (2020). "Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective," IEEE Access, vol. 8, pp. 21980–22012, 2020. 10.1109/ACCESS.2020.2970143.
- B. Ashtari Talkhestani et al. (2019). "An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System," At-Automatisierungstechnik, vol. 67, no. 9, pp. 762–782, Sep. 2019. 10.1515/auto-2019-0039.
- C. Koulamas y A. Kalogeras. (2018). "Cyber-Physical Systems and Digital Twins in the Industrial Internet of Things", Computer, vol. 51, pp. 95-98, nov., 2018. 10.1109 / MC.2018.2876181. <https://www.computer.org/csdl/magazine/co/2018/11/08625931/17D45WYQJ7p>
- D. U. Campos Delgado. (2018). "¿Qué Son Los Sistemas Ciberfísicos?," Universitarios Potosinos. Divulgando Mirador de la Ciencia, pp. 36 – 37, no. 224, jun., 2018. <http://www.uaslp.mx/ComunicacionSocial/Documents/Divulgacion/Revista/Quince/universitarios%20potosinos%20224.pdf>

- E. S. Oran, C. R. Kaplan, K. Kailasanath, and J. P. Boris. (2009). "The Computational Man: A Predictive Dynamic Model of Human Physiology,"
- E. VanDerHorn and S. Mahadevan. (2021). "Digital Twin: Generalization, characterization and implementation," *Decis. Support Syst.*, p. 113524, Feb. 2021.10.1016/j.dss.2021.113524.
- F. Tao, H. Zhang, A. Liu, and A. Y. C. Nee. (2019) "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 2405–2415, Apr. 2019.10.1109/TII.2018.2873186.
- F. Tao, J. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, H. Zhang, and F. Sui. (2018). "Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 94, no. 9–12, pp. 3563–3576, Feb. 2018. 10.1007/s00170-017-0233-1.
- G. Barbieri et al. (2021). "A virtual commissioning based methodology to integrate digital twins into manufacturing systems," *Prod. Eng.*, vol. 1, p. 3, Mar. 2021.10.1007/s11740-021-01037-3.
- H. Laaki, Y. Miche, and K. Tammi. (2019). "Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control over Mobile Networks: Application of Remote Surgery," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 20235–20336, 2019. 10.1109/ACCESS.2019.2897018.
- H. Peng, S. Ma, and J. M. Spector. (2019). "Personalized adaptive learning: an emerging pedagogical approach enabled by a smart learning environment," *Smart Learn. Environ.*, vol. 6, no. 1, p. 9, Dec. 2019. 10.1186/s40561-019-0089-y.
- H. Yu, C. Miao, C. Leung, and T. J. White. (2017). "Towards AI-powered personalization in MOOC learning," *npj Sci. Learn.*, vol. 2, no. 1, p. 15, Dec. 2017. 10.1038/s41539-017-0016-3.
- J. Brazina, J. Vetiska, V. Stanek, F. Bradac, and M. Holub. (2020). "Virtual commissioning as part of the educational process," in *Proceedings of the 2020 19th International Conference on Mechatronics - Mechatronika, ME 2020*, Dec. 2020. 10.1109/ME49197.2020.9286613.
- J. C. Camposano, K. Smolander, and T. Ruippo. (2021). "Seven metaphors to understand digital twins of built assets," *IEEE Access*, pp. 1–1, Feb. 2021. 10.1109/access.2021.3058009.
- J. K. Lazo, M. Lawson, P. H. Larsen and D. M. Waldman. (2011). "US economic sensitivity to weather variability", *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, vol. 92, no. 6, pp. 709-720, 2011.
- Jan Howells (2019). "Virtual siblings reduce the cost of prototyping | Orange Business Services." <https://www.orange-business.com/en/blogs/digital-twins-virtual-siblings-reduce-cost-real-world-prototyping>
- K. Bruynseels, F. Santoni de Sio, and J. van den Hoven. (2018). "Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm," *Front. Genet.*, vol. 9, no. FEB, p. 31, Feb. 2018. 10.3389/fgene.2018.00031.
- K. M. Alam and A. El Saddik. (2017). "C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 2050–2062, 2017. 10.1109/ACCESS.2017.2657006.
- K. T. Park, J. Lee, H. J. Kim, and S. Do Noh.

- (2020). "Digital twin-based cyber physical production system architectural framework for personalized production," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 106, no. 5–6, pp. 1787–1810, Jan. 2020. 10.1007/s00170-019-04653-7.
- K. Y. H. Lim, P. Zheng, and C. H. Chen. (2020). "A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 31, no. 6. Springer, pp. 1313–1337, Aug. 01, 2020. 10.1007/s10845-019-01512-w.
- Kasey Panetta. (03 de octubre de 2017). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018. Smarter With Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/>
- Kasey Panetta. (15 de octubre de 2018). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. Smarter With Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>
- Kasey Panetta. (18 de octubre de 2016). Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017. Smarter With Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017/>
- Kasey Panetta. (21 de octubre de 2019). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. Smarter With Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/>
- L. Joyanes Aguilar (2018). "Industria 4.0: La cuarta Revolución Industrial," Alfaomega: Bogotá, 1a ed., p. 271.
- M. Abdel-Basset, G. Manogaran, M. Mohamed and E. Rushdy. (2019). "Internet of Things in smart education environment: Supportive framework in the decision-making process", *Concurrency Comput. Pract Exper.*, vol. 31, no. 10, May 2019.
- M. Ayani, M. Ganebäck, and A. H. C. Ng. (2018). "Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning," in *Procedia CIRP*, Jan. 2018, vol. 72, pp. 243–248. 10.1016/j.procir.2018.03.139.
- M. Grethler, J. Ovtcharova, and M. B. Marinov. (2020). "Service prototyping based on digital twins for virtual commissioning scenarios," in 11th National Conference with International Participation, *ELECTRONICA 2020 - Proceedings*, Jul. 2020. 10.1109/ELECTRONICA50406.2020.9305142.
- M. Grieves and J. Vickers. (2016). "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems," in *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, Springer International Publishing, 2016, pp. 85–113.
- M. Liu, S. Fang, H. Dong, and C. Xu. (2020). "Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications," *J. Manuf. Syst.*, vol. 58, pp. 346–361, Jan. 2020. 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
- Malakuti, Somayeh & Schlake, Jan & Ganz, Christopher & Harper, K. Eric & Petersen, Heiko. (2019). *Digital Twin: An Enabler for New Business Models*. Oracle Cloud (s.f.). "About the Oracle IoT

- Digital Twin Implementation.” <https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/iot-cloud/iotgs/oracle-iot-digital-twin-implementation.html>
- P. Bauer, A. Thorpe and G. Brunet (2015). “The quiet revolution of numerical weather prediction”, *Nature*, vol. 525, no. 7567, pp. 47-55, Sep. 2015.
- Q. Qi and F. Tao. (2018). “Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3585-3593, 2018. 10.1109/ACCESS.2018.2793265.
- Q. Qi, F. Tao, Y. Zuo, and D. Zhao. (2018). “Digital Twin Service towards Smart Manufacturing,” in *Procedia CIRP*, Jan. 2018, vol. 72, pp. 237–242. 10.1016/j.procir.2018.03.103.
- R. J. Ronda, G. J. Steeneveld, B. G. Heusinkveld, J. J. Attema and A. A. M. Holtslag. (2017). “Urban finescale forecasting reveals weather conditions with unprecedented detail”, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 98, no. 12, pp. 2675-2688, Dec. 2017.
- Redacción APD. (2020). ¿Qué es un Gemelo Digital? Ventajas de trabajar sobre la ‘copia exacta’ de tu modelo de negocio. “apd”. <https://www.apd.es/que-es-gemelo-digital-ventajas/>
- S. M. E. Sepasgozar. (2010). “Digital Twin and Web-Based Virtual Gaming Technologies for Online Education: A Case of Construction Management and Engineering,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 13, p. 4678, Jul. 2020. 10.3390/app10134678.
- S. Malakuti and S. Grüner. (2018). “Architectural aspects of digital twins in IIoT systems,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, Sep. 2018, pp. 1–2. 10.1145/3241403.3241417.
- S. S. Sunder. (2012). “Cyber-Physical Systems”. UC Berkeley, Mar. 2012. <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/>
- Siemens ingenuity for life. (.s.f.). “Diseño de conceptos mecatrónicos | Siemens Digital Industries Software.” <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/products/mechanical-design/mechatronic-concept-design.html>
- Siemens. (s.f.). “Documentación de Siemens: Ayuda de NX 12.” https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/12/nx_help/#uid:index
- Sistema completo MPS® PA 204 (s. f.). “<https://www.festo-didactic.com/>”.
- Sony Shetty. (08 de junio de 2017). How to Use Digital Twins in Your IoT Strategy. Smarter With Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/how-to-use-digital-twins-in-your-iot-strategy/>
- T. Borangiu, D. Trentesaux, A. Thomas, P. Leitão, and J. Barata. (2019). “Digital transformation of manufacturing through cloud services and resource virtualization,” *Computers in Industry*, vol. 108. Elsevier B.V., pp. 150–162, Jun. 01, 2019. 10.1016/j.compind.2019.01.006.
- Technical details MPS PA (Colección de hojas de datos) (s. f.). “<https://www.festo-didactic.com/>” <https://www.festo-didactic.com/es-es/servicio-y-asistencia/software/mps-pa/technical-details-mps-pa>

[htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjMyLjE1NTguNjM5Nw](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4_49)

Y. S. Mitrofanova, A. A. Sherstobitova, and O. A. Filippova. (2019). "Modeling smart learning processes based on educational data mining tools," in Smart Innovation, Systems and Technologies, 2019, vol. 144, pp. 561–571. 10.1007/978-981-13-8260-4_49.



DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL ÁCIDO SULFÚDRICO (H₂S) CONTENIDO EN EL BIOGÁS EN UNA TORRE DE FILTRACIÓN

Design of the control strategy for hydrogen sulfide (h₂s) contained in the biogas in a filtration tower

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño de la estrategia de control para la reducción de la concentración en ppm de ácido sulfúdrico, presente en el biogás crudo, extraído de biodigestores, mejorando así las condiciones del biogás para ser utilizado en generación eléctrica. Ante la falta de acceso a la planta, se aprovecha la disponibilidad de ciertos datos del funcionamiento de la torre de filtración, y utilizando redes neuronales artificiales se obtiene un modelo del proceso realizado internamente en la torre. Se construye con este modelo un lazo de control PID, en Simulink, para determinar los parámetros de sintonía del controlador que permitan obtener el desempeño adecuado del proceso. Para desarrollar el programa de control en un autómata programable, se utiliza la aplicación TIA Portal de Siemens,

- Arley Quijano Liz
- Javier Enrique Rodríguez Ceballos
javier.rodriguez@uao.edu.co
- Jesús Alfonso López Sotelo Jesús
jalopez@uao.edu.co
- William Gutiérrez Marroquín
wwilliam.gutierrez@sena.edu.co - CEAI

AUTORES

implementando la estrategia de control en un PLC serie S7-1500. Mediante intercambio de datos entre la aplicación TIA Portal y Simulink, a través de una aplicación OPC, se determina el comportamiento del proceso

de acuerdo con las condiciones de diseño establecidas. Se diseña una interfaz gráfica de usuario, HMI, desde la cual el operario puede visualizar el estado del proceso o modificar determinadas condiciones de su funcionamiento. El procedimiento utilizado con el modelo de la planta y en modo simulación, permitió alcanzar unos valores aceptables cercanos a las condiciones de diseño especificadas.

Palabras Claves: Ácido sulfhídrico, autómatas programables, biogás, estrategia de control, redes neuronales, torre de filtración.

ABSTRACT

This article presents the design of the control strategy for the reduction of ppm of hydrogen sulfide, which is present in crude biogas and is extracted through bio-digesters, thus improving the biogas conditions to be used in electrical generation. Given the lack of access to the plant, the availability of data on the operation of the filtration tower is used and using artificial neural networks a model of the process is obtained. A PID control loop is built with this model, in Simulink, to determine the setting parameters of the controller that allow obtaining the adequate performance of the process. To develop the control program in a programmable controller, the Siemens TIA Portal application is used, implementing the control strategy in an S7-1500 series PLC. Through data exchange between the TIA Portal application and Simulink. Through an OPC application, the behavior of the process is determined according to the established design conditions. A human machine interface, HMI, is designed from which the operator can view the status of the process or modify

some conditions of its operation.

Keywords: hydrogen sulfide, programmable automaton, biogas, control strategy, neural networks, filtration tower.

1. INTRODUCCIÓN

El mundo actual enfrenta una crisis energética donde uno de los factores que contribuye a ello es el uso indiscriminado de los combustibles convencionales. Para ello se han buscado alternativas de energías no convencionales, entre ellas, el caso del biogás. El biogás es un combustible sustentable, que se obtiene mediante el proceso de descomposición anaerobia de residuos orgánicos. En general, está compuesto aproximadamente por un 56% de gas metano (CH_4), un 40% de dióxido de carbono (CO_2), además de oxígeno y otros gases (W.-B. pp34-41 CIOB, 2010). Actualmente, al igual que el gas natural, formado principalmente por metano, el biogás permite generar electricidad a partir del uso de motores de combustión interna que impulsan un generador eléctrico. Uno de los componentes del biogás es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el cual en ciertos niveles de concentración es perjudicial para los motores y la estructura por la cual es transportado. El H_2S es un gas inflamable, incoloro, altamente tóxico y corrosivo, por lo cual dificulta su transporte por tuberías, su almacenamiento en tanques y otras estructuras metálicas, como aquellas que participan en la generación y distribución de electricidad (M. Varnero et al., 2012).

En este documento se presenta el diseño de una estrategia de control que permite disminuir la concentración de H_2S en el

biogás utilizando técnicas de inteligencia artificial, como lo son las redes neuronales, para la obtención del modelo del proceso. El resto del documento está estructurado de la siguiente forma, en la sección dos se presenta el estado del arte sobre otros intentos de reducción de los niveles de H₂S mediante distintas técnicas de remoción, en la sección tres se presenta la metodología implementada en el proyecto, en la sección cuatro se presenta el desarrollo del proyecto, detallando cada una de las actividades realizadas, posteriormente se presentan los resultados y su discusión en la sección cinco y por último en la sección seis se presentan las conclusiones.

2. ESTADO DEL ARTE

Por las características del biogás, es necesario someterlo a un proceso de depuración (L. Hamelin, H. Møller, & U. Jørgensen, 2020); se cuenta con diversas opciones tecnológicas para la depuración del H₂S presente en el biogás, basadas principalmente en procesos de tipo físico, químico y biológico tales como la absorción, adsorción, filtración, oxidación y mineralización. Tradicionalmente, los sistemas basados en procesos fisicoquímicos han sido los más implementados, a pesar de que los costos de inversión y operación tienden a ser altos dado el consumo de energía, productos químicos y generación de residuos secundarios que requieren de disposición final. Entre los sistemas de depuración de H₂S más utilizados a nivel comercial se encuentra la aplicación de cloruro férrico en el efluente que alimenta el biodigestor, la filtración por medio de óxidos de hierro, el uso de carbón activado como medio

filtrante y los lavadores de gases (scrubbers) con base en agua o hidróxido de sodio. La aplicación directa de pequeñas cantidades de oxígeno en la zona donde se almacena el biogás en los biodigestores permite reducir considerablemente los niveles de H₂S gracias a la oxidación biológica realizada por un grupo de microorganismos denominados Thiobacillus, que transforman el H₂S en azufre elemental. En los últimos años, los sistemas biológicos aerobios han adquirido especial importancia en la remoción eficiente de compuestos gaseosos en altas concentraciones tales como el H₂S; estos sistemas biológicos se caracterizan por tener menores costos de inversión y bajos requerimientos energéticos, lo cual les otorga claras ventajas económicas sobre las demás opciones tecnológicas de depuración.

A nivel de inteligencia artificial, entre las técnicas que se han implementado para la reducción del ácido sulfhídrico en torres de filtración, destaca por su efectividad el control mediante lógica difusa. La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. En general, la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas (D'Negri et al., 2006). Por lo anterior, ésta ha conseguido un gran éxito y un mayor número de seguidores al ser implementada en el control de procesos industriales. Una de las ventajas que suelen mencionarse de los controladores difusos, frente a otro tipo de controladores, es que pueden diseñarse, aunque no se tenga un

modelo matemático exacto de la planta a controlar gracias a que están basados en reglas. Esta situación, sin embargo, no es del todo favorable ya que el no tener un modelo matemático de la planta implica no poder realizar simulaciones sobre la misma, de tal manera que los ajustes del controlador deben realizarse en línea (Oscar Duarte, 2000).

3. METODOLOGÍA

La automatización de los procesos productivos se establece como una herramienta fundamental que permite a las empresas un desarrollo propio, dinámico y competitivo, facilitando la relación entre las diferentes áreas de la organización o empresa. Por lo que es muy importante aplicar una buena metodología o procedimiento adecuado y eficaz, que permita a las industrias automatizar bienes de producción particularmente con el uso de PLC's (J. Castro, J. Padilla, & E. Romero, 2005).

De este modo, para llevar a cabo la implementación de la estrategia de control para una torre de filtración del H₂S contenido en el biogás, se hace uso del Ciclo de Deming con el propósito de lograr una automatización eficiente y operativa, el cual se representa en la siguiente figura.



Figura 1. Gráfico ilustrativo del Ciclo de Deming. Fuente: Ciclo de Deming: Metodología de mejora continua | PDCA - PHVA. (2020). Retrieved 12 September 2020, from <https://www.ingenieriadecalidad.com/2020/02/ciclo-de-deming.html>

El ciclo Deming conocido como espiral de mejora continua propone inicialmente la fase de planeación, en la cual se establecen las actividades del proceso necesarias para obtener el resultado esperado. En la fase del hacer se realizan las actividades establecidas previamente. En la fase de verificación se determina el nivel de alcance de los objetivos propuestos y finalmente, a partir de los resultados alcanzados se procede a recopilar lo aprendido y a ponerlo en marcha. También suelen aparecer recomendaciones y observaciones que suelen servir para el cierre del ciclo y el establecimiento de una mejora continua.

4. DESARROLLO

4.1. Caracterización del Proceso

En el diagrama de flujo de la figura 2 se presentan las etapas del proceso por las cuales pasa el biogás crudo que sale de los biodigestores, antes de ser utilizado en la generación de energía.

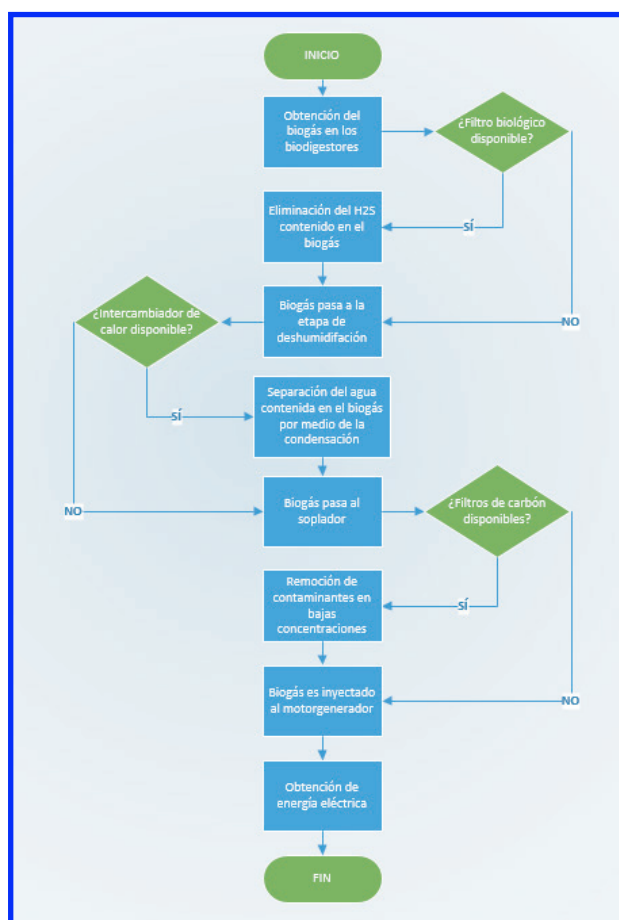


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento del biogás. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de flujo implementado permite identificar la etapa donde se debe implementar la estrategia de control, justo después de que el biogás sale del biodigestor. En esta etapa, mediante la torre de filtración,

que en este caso es el filtro biológico, se controla la concentración en ppm del H_2S a la salida del filtro, asegurando a través de la remoción por procesos biológicos, que el valor deseado dado en las especificaciones de funcionamiento sea alcanzado.

4.2. Lazo de Control a Implementar

Antes de identificar el lazo de control a implementar, cabe aclarar que el lazo o bucle de control en su forma básica es el sistema compuesto por el dispositivo de medición, el controlador, el elemento final de control y el propio proceso. El objetivo de este es mantener el proceso estable, independientemente de perturbaciones y desajustes (Issac Hernández, 2021).

Para una adecuada interpretación del lazo de control, se construye entonces el diagrama P&ID (Diagrama de instrumentación y tuberías) de la planta, resaltando la ubicación del lazo de control a implementar. En la figura 3 se presenta el diagrama P&ID de la planta, y con líneas a trozos, se muestran los elementos que componen el lazo de control.

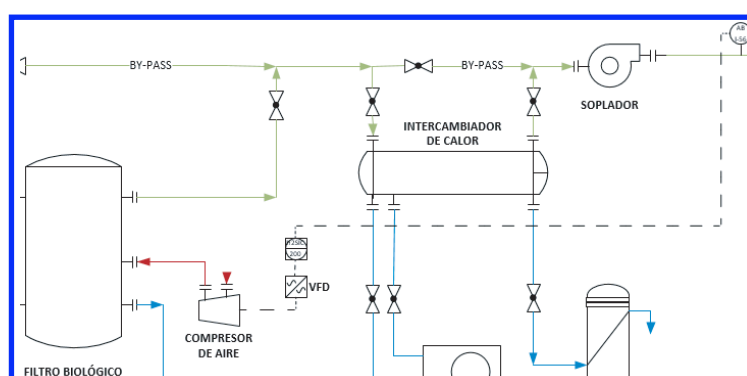


Figura 3. Lazo de control a implementar para el control de H_2S de acuerdo con la instrumentación y las tuberías del proceso de tratamiento del biogás. Fuente: Elaboración propia.

La concentración de H₂S en el biogás se mide a la salida del soplador utilizando el analizador, la señal captada es enviada al controlador de velocidad, con la cual se manipula la cantidad de oxígeno que entra al filtro biológico y así poder regular la concentración del H₂S. Al ser la torre de filtración un filtro biológico, la variable a manipular es el porcentaje de oxígeno que entra al filtro, para garantizar la reproducción de las bacterias encargadas de eliminar el H₂S.

Debido a que los datos registrados no presentan una periodicidad de muestreo constante y se evidencia gran dispersión en los mismos, se realiza un análisis inicial y se decide utilizar técnicas de redes neuronales para obtener el modelo del filtro biológico (J. Gonçalves Neto et al., 2021). Se utiliza la aplicación Matlab versión R2020a para obtener el modelo del comportamiento de la planta. En el diagrama en bloques siguiente se muestra el tratamiento realizado a los datos.

4.3. Diseño de la Estrategia de Control

Al no tener acceso a la planta física (filtro biológico), por su ubicación geográfica en el departamento del Meta, se ve la oportunidad de la obtención del modelo a partir de un conjunto de datos del proceso expuestos en la figura 4 suministrados por el ingeniero Arley, responsable en la empresa ProDG Ltda donde se realizó el proyecto.

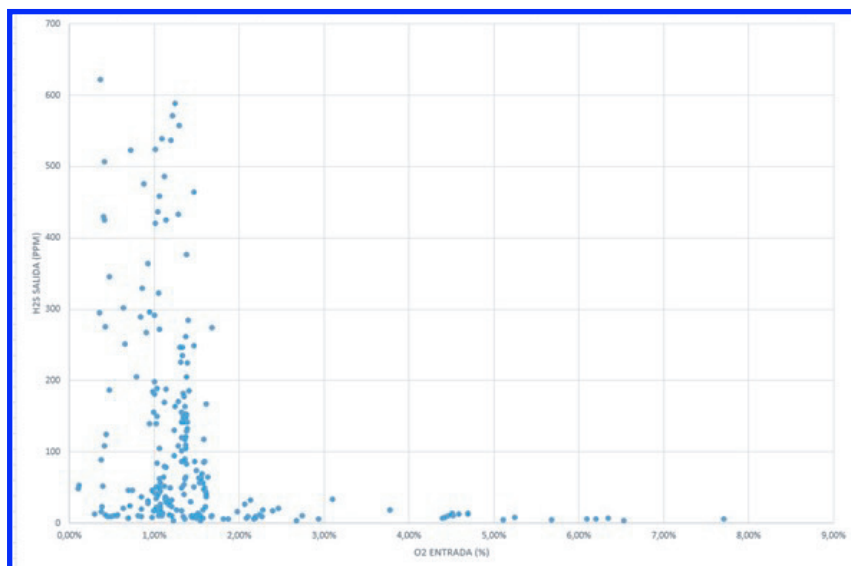


Figura 4. Datos proporcionados del H₂S en función del oxígeno inyectado. Fuente: Elaboración propia.

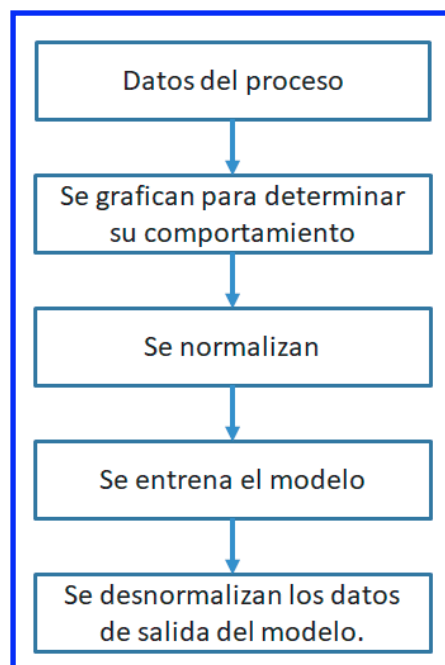


Figura 5. Diagrama de bloques del tratamiento realizado a los datos.

Fuente: Elaboración propia.

Una red neuronal es un modelo de computación cuya estructura de capas se asemeja a la estructura interconectada de las neuronas en el cerebro, con capas de nodos conectados. Ésta puede aprender de los datos, de manera que se puede entrenar para que reconozca patrones, clasifique datos y pronostique

eventos futuros. El valor clave de las redes neuronales artificiales es su capacidad para modelar funciones no lineales muy complejas, aunque también se adaptan bien a problemas altamente dimensionales, donde el número potencial de predictores es muy grande. Además, el esquema de conexión entre neuronas es libre, sin seguir una estructura de capas y permitiendo conexiones recurrentes.

Esta última consideración permite que las redes exhiban comportamientos dinámicos (J. Ortiz, s.f.).

Entre las ventajas que se tienen al utilizar redes neuronales se tienen que son modelos adaptativos, puesto que la aparición de nuevos datos permite el reaprendizaje de los parámetros adaptando los valores anteriores a los datos actuales y son tolerantes a fallos, ya que su comportamiento está distribuido entre todos los parámetros. Así, cuando alguno de ellos es incorrecto, el resultado global se degrada, pero no deja al modelo inoperante, necesariamente.

Inicialmente se realiza una normalización a los datos disponibles del filtro, seguido se implementa un script para el entrenamiento de la red neuronal mediante el cual se obtiene el modelo del proceso.

```

%% Separación de datos de entrenamiento y validación aleatoriamente
U=O2NORMENTRADA';
[trainO2, valO2] = dividerand(U,0.7,0.3);
UTrain=trainO2'; % datos entrada para entrenamiento
Uval=valO2'; % datos entrada para validación
Y=H2SNORMSALIDA';
[trainH2S, valH2S] = dividerand(Y,0.7,0.3);
YTrain=trainH2S'; % datos salida para entrenamiento
Yval=valH2S'; % datos salida para validación

%% Entrenamiento de la red
Phi=[YTrain(1:end-1) UTrain(1:end-1)]';
Yreal=[YTrain(2:end)]';
Red=newff(Phi,Yreal,[10],{'tansig','purelin'},'trainlm');
Red.dividefcn='';
Red.trainParam.goal= 0;
Red=train(Red,Phi,Yreal);

%% Generación de red en Simulink
gensim(Red,-1)

```

Figura 6. Código implementado en Matlab para el entrenamiento y la obtención del modelo mediante la red neuronal. Fuente: Elaboración propia.

En el script mostrado en la figura 6, el primer bloque de instrucciones del conjunto de datos totales, se seleccionan el subconjunto que conforma los datos de entrenamiento y el subconjunto de datos de validación. En el segundo bloque se define la estructura de la red neuronal, los elementos de las capas de entrada y salida, número de capas ocultas y el número de neuronas en cada una, así como también el algoritmo de entrenamiento. Como respuesta del entrenamiento se genera un bloque del modelo encontrado por la red neuronal definida, este bloque se integra en Simulink para realizar la implementación de la estrategia de control, en este caso un regulador PID (proporcional, integral y derivativo) continuo, para regular la concentración de H₂S en el biogás (Alex Rubio, 2019). Mediante esta simulación en

Simulink, se determinan los parámetros óptimos del controlador para obtener el comportamiento definido de la planta.

En la figura 7 se muestra la estrategia de control implementada.

esto se establece una comunicación de intercambio de datos vía OPC, KepServer EX5, entre la aplicación TIA Portal y el Simulink (I. Pranowo, Y. Bagastama, & T. Wibisono, 2020). La aplicación KepServer

hace las veces del servidor de datos y las aplicaciones TIA Portal y Simulink son los clientes. En la figura 8 se muestra la configuración de la comunicación OPC en la aplicación Simulink.

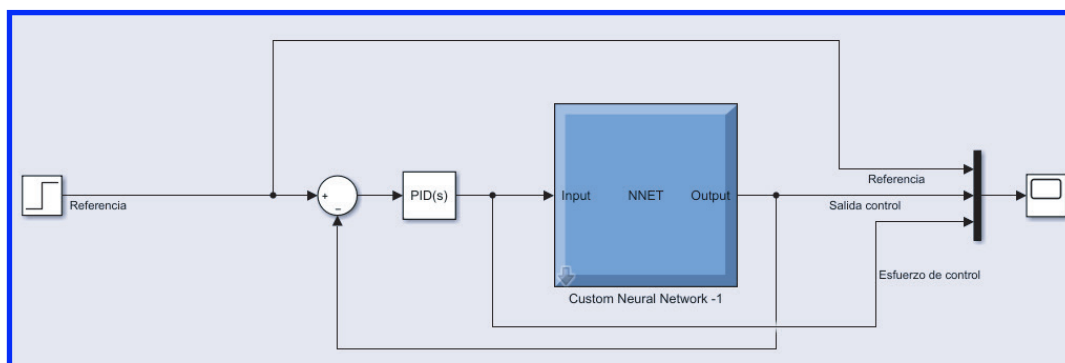
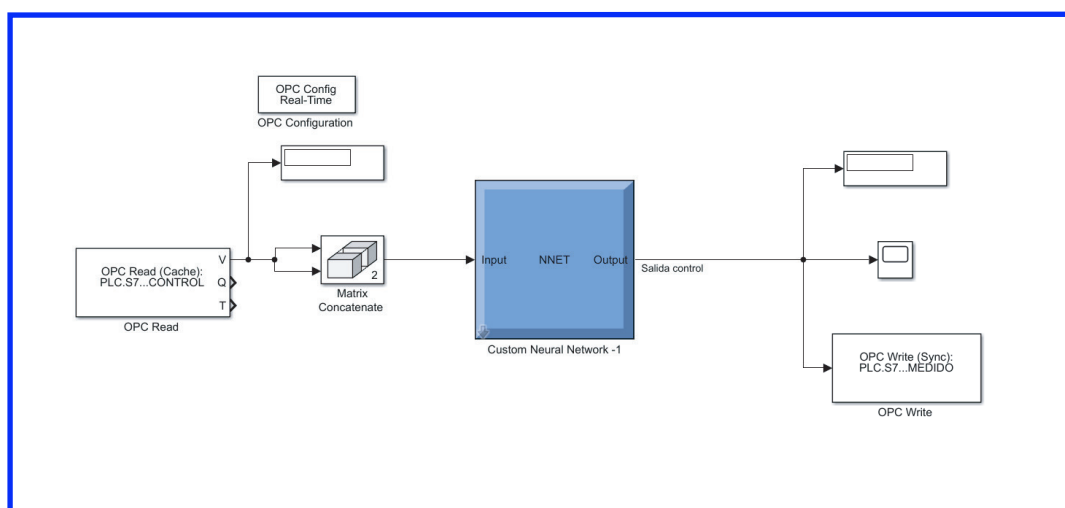


Figura 7. Configuración estrategia de control PID a la red neuronal en Simulink Fuente: Elaboración propia.



4.4. Simulación de la Estrategia de Control Implementada en el PLC Seleccionado

Utilizando la aplicación TIA portal, con la cual se programan controladores de la serie Siemens, se implementa la acción de control para regular la concentración del H₂S presente en el biogás. En esta etapa se pretende determinar el comportamiento del modelo obtenido del proceso, implementando la estrategia de control en un autómata programable. Para

Figura 8. Configuración para aplicar el control PID desde el TIA Portal a la red neuronal en Simulink por medio de comunicación OPC. Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de que el operario pueda interactuar con el sistema de control, se diseña un sistema HMI con cuatro imágenes, una imagen principal desde la cual se presenta información del proceso y el operario accede a las demás imágenes,

la imagen de visualización de las variables principales en el lazo de control, Setpoint, SP, variable de proceso, PV, y la señal de control, MV, además en esta imagen se puede conmutar el funcionamiento del controlador entre los modos manual y automático. En la imagen de sintonía, el operario puede realizar la sintonía del lazo de control y en la cuarta dispone del gráfico de tendencias donde se puede visualizar el comportamiento en el tiempo de las variables principales del lazo de control. En la figura 9 se muestran las imágenes diseñadas para que el operario supervise y monitoree el proceso.

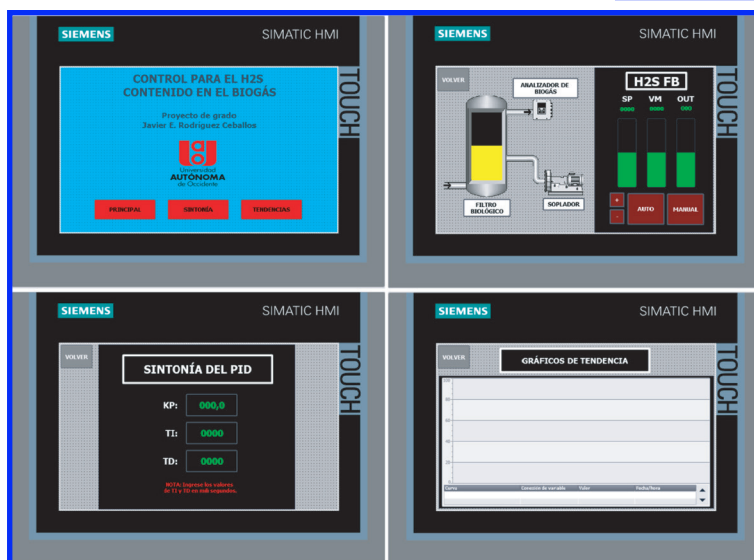


Figura 9. Sistema HMI. Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sintonía del controlador permite obtener un valor de la variable de proceso, concentración de H₂S, cercano al valor especificado en las condiciones de diseño. En la siguiente

figura se observa el comportamiento de las variables principales del lazo de control.

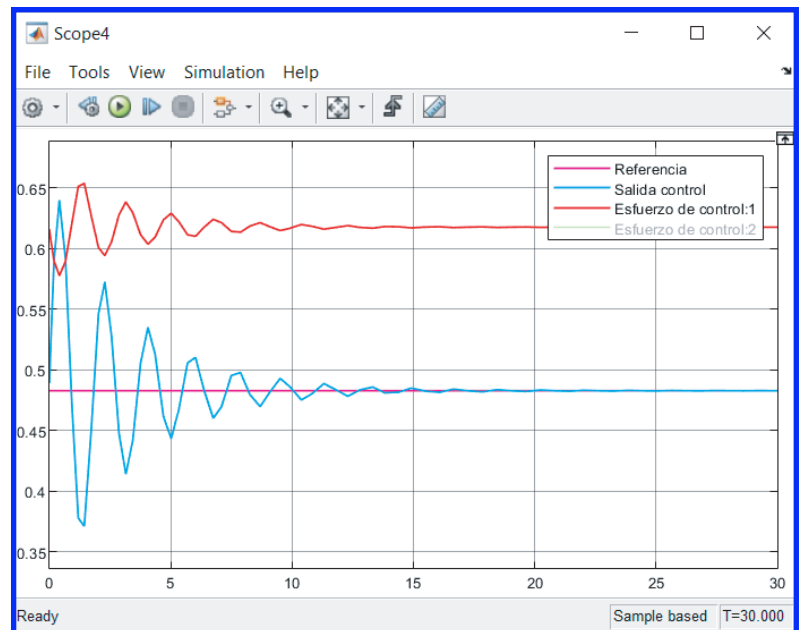


Figura 10. Respuesta del control PID en Simulink a la planta ante una entrada tipo escalón. Fuente: Elaboración propia.

Finalizado el procedimiento de sintonía del controlador se obtienen los valores, ganancia proporcional $P = -0.2$, tiempo integral $I = 60$ segundos y ganancia derivativa $D = 5$ segundos. El signo negativo en la ganancia proporcional indica que la estrategia de control es de acción directa. En la figura 10 se observa que se obtuvo un tiempo de establecimiento de aproximadamente 20 segundos, menor que el tiempo de 25 segundos establecido en las condiciones de diseño.

Para determinar el comportamiento del sistema de control utilizando el autómata programable, se utilizan los mismos parámetros de sintonía obtenidos en Simulink. En la figura 11 se muestra la

respuesta del sistema de control ante una entrada tipo escalón, con la estrategia de control implementada en el TIA Portal. Desde la interfaz HMI se modifican los parámetros de sintonía del controlador PID, se establecen el Setpoint y se ingresan los parámetros de sintonía obtenidos en Simulink, todo esto utilizando la comunicación OPC establecida entre las aplicaciones.

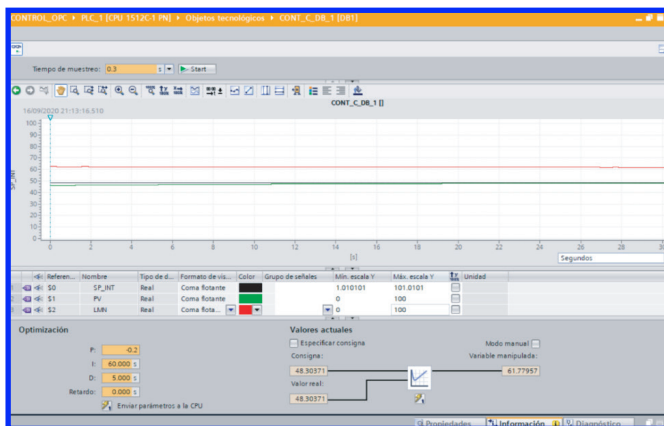


Figura 11. Respuesta de la planta en Simulink ante una entrada tipo escalón, control implementado en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

Por efectos relacionados a la comunicación entre los programas mediante el servidor OPC, la respuesta ante la entrada no fue idénticamente la misma que en el Simulink, pero se evidencia que tanto el tiempo de estabilización como el esfuerzo de control cumplen con las expectativas que se tenían al aplicar el control desde el autómata programable a la planta simulada. Para concluir con los resultados, se puso a prueba la estrategia de control diseñada y simulada al ingresar diversos valores deseados de H₂S desde la interfaz de control en el HMI. Como se ve en la siguiente figura, el resultado fue positivo ya que se alcanzaron los valores

deseados en todas las ocasiones.

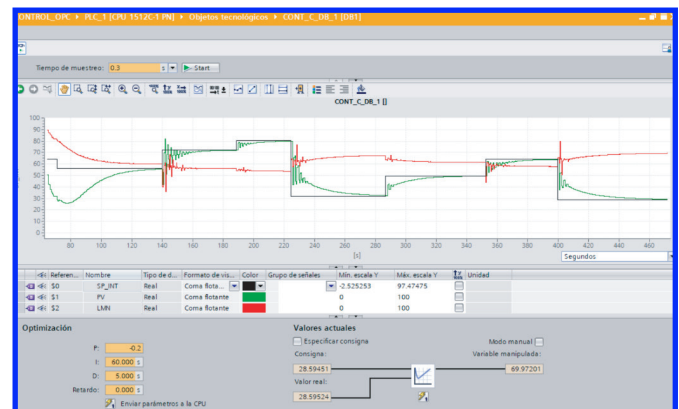


Figura 12. Respuesta del control PID en TIA Portal a la planta en Simulink ante varias entradas tipo escalón. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 12, la señal de control oscila antes de estabilizarse al igual que la simulación en Simulink en todas las entradas que se le dieron. En la figura anterior se ve claramente las respuestas de la salida de control (línea roja), el Setpoint (línea negra) y la variable medida (línea verde). El tiempo de establecimiento está dentro de un rango aceptable de funcionamiento de la planta, Mostrando un buen porcentaje de similitud entre el comportamiento del sistema en la simulación con el implementado en el autómata programable. respondiendo también a la acción directa de control expuesta anteriormente demostrando los valores de sintonía utilizados y el desempeño del controlador para ajustar el valor real de acuerdo con la consigna ingresada.

6. CONCLUSIONES

- Se diseña la acción de control para regular la concentración del H₂S en el biogás logrando disminuir la intervención

directa de los operarios sobre el control del proceso de eliminación del H₂S en la torre de filtración con la ayuda del sistema HMI, se espera la mejora en la productividad de energía al mantener el biogás en las condiciones óptimas para la combustión. Además, se pueden reducir costos en el mantenimiento de equipos e instalaciones, al reducir la concentración alta de H₂S, la corrosión no será un factor de amenaza en el proceso.

- Gracias a la utilización de las redes neuronales en la obtención del modelo del proceso, se consigue generar una solución confiable para la obtención de la representación del filtro biológico. Debido a las restricciones que se tuvo con los datos suministrados correspondientes al funcionamiento del filtro biológico, el entrenamiento de la red neuronal fue la solución que mejor se adaptó a las necesidades ofreciendo buenos resultados del modelo obtenido al conseguir una concentración de H₂S admisible en la salida al inyectar cierto porcentaje de O₂ a la entrada.
- Teóricamente, el modelo del filtro biológico real tiene el comportamiento de un sistema no lineal debido a la conducta imprevista de las bacterias en su interior al tratarse de un sistema vivo, pero para el desarrollo de esta estrategia como se obtuvo la representación de la planta mediante una determinada cantidad de datos, con la implementación de un controlador PID se alcanza un buen desempeño. Esta estrategia de control fue efectiva debido a que los datos de entrenamiento correspondían a una región de operación donde el filtro

biológico presentó un comportamiento lineal. Para futuros experimentos sobre la planta real, se sugiere el uso de otra alternativa de control como lo es la lógica difusa, permitiendo la obtención del H₂S deseado a través de reglas heurísticas de la forma SI (antecedente), ENTONCES (consecuente).

Referencias

- Alex Rubio. (2019). "No Title4 ventajas de los reguladores PID | ¿Por qué usar reguladores PID?," <https://www.instrumentaciondigital.es/4-ventajas-de-los-reguladores-pid/>.
- D´Negri, Carlos Eduardo; De Vito, Eduardo Luis. (2006). "Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa", Revista Americana de Medicina Respiratoria, vol. 6, núm. 3, diciembre, 2006, pp. 126-136. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382138367007>.
- I. D. Pranowo, Y. B. T. Bagastama, and T. A. F Wibisono. (2020). "Communication between PLC different vendors using OPC server improved with application device," Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 18, no. 3, pp. 1491–1498, 2020. 10.12928/TELKOMNIKA.v18i3.14757.
- Issac Hernández. (2021). "LAZO DE CONTROL. Curso instrumentación y control." <http://cursoinstrumentacionycontrol.blogspot.com/2016/10/lazo-de-control.html#:~:text=En%20su%20forma%20b%C3%A1sica%20un,independientemente%20de%20perturbaciones%20y%20desajustes>.
- J. Castro, J. Padilla, y E. Romero (2005). "Metodología para realizar una automatización utilizando PLC , IMPULSO, REVISTA DE ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES". https://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/v1_art4.pdf.
- J. Gonçalves Neto, L. Vidal Ozorio, T. C. de Abreu, B. dos Santos, and F. Pradelle. (2021). "Modeling of biogas production from food, fruits and vegetables wastes using artificial neural network (ANN)," Fuel, vol. 285, 2021. 10.1016/j.fuel.2020.119081.
- J. Ortiz. (s.f.). "¿Qué es una red neuronal?, Mathworks". <https://es.mathworks.com/discovery/neuralnetwork.html>.
- L. Hamelin, H. B. Møller, and U. Jørgensen (2020). "Harnessing the full potential of biomethane towards tomorrow's bioeconomy: A national case study coupling sustainable agricultural intensification, emerging biogas technologies and energy system analysis," Renew. Sustain. Energy Rev., p. 110506, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110506>.
- M. T. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos, and P. Achondo. (2012) "Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica," Inf. Tecnol., vol. 23, no. 2, pp. 31–40, 2012. 10.4067/S0718-07642012000200005.
- Oscar G. Duarte. (2000). "Aplicaciones de la Lógica Difusa" Revista Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n45.21308>
- W.-B. pp34-41 CIOB (2010) Code of Practice for Project Management (4th edition) Chichester, "No Title No Title," Journal of Chemical Information and Modeling, 2019. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2475&tip=10&xit=biogas-energia-limpiay-sustentable>.



LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN, UNA BASE PARA LA DIGITALIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

Communication protocols, a basis for the digitalization of industrial processes

RESUMEN

La transformación digital de los procesos industriales está enfocada inicialmente a la obtención de datos del proceso, para posteriormente convertirlos en información que permita tomar decisiones oportunas, para obtener mejoras en la cadena de valor del proceso. La comunicación máquina - máquina, M2M, está orientada al intercambio de información entre las máquinas en un proceso industrial, lo cual ha permitido implementar sistemas de control distribuido. El internet de las cosas, IoT, tecnología propuesta desde industria 4.0, está planteando la posibilidad de comunicación no solo a nivel de máquinas, sino también la comunicación con los clientes, los proveedores, con todos los actores en la cadena de valor de la empresa. Esta comunicación horizontal y vertical se está logrando a través de protocolos de comunicación como MQTT, RFID, OPC

- Luis Felipe Cuero Granobles
luis.cuero@uao.edu.co
- Iván Miguel Londoño Silva
imlondono@sena.edu.co
- William Gutiérrez Marroquín
william.gutierrez@sena.edu.co - CEAI

AUTORES

UA, protocolos basados en Ethernet IP, objeto de estudio en el presente proyecto.

En este artículo se presenta la caracterización de algunos de los protocolos de comunicación utilizados en IoT, para lo cual se utilizan aplicaciones de simulación para obtener y validar información proveniente de sensores y actuadores de una línea de fabricación; al realizar el análisis de la evaluación de

cada uno de los protocolos que se utilizaron para este estudio se determina las altas prestaciones del protocolo OPC UA, sobre los otros estudiados. OPC UA es una alternativa bastante viable para la comunicación, soportado en su fácil implementación, está embebido en un número considerable de autómatas programables como los PLC S7 1500, de Siemens, los PLC BOSCH, además su velocidad de comunicación, como el tamaño de paquete que soporta, permite ajustarse a las necesidades de un entorno IIoT.

Palabras Claves: IoT o Internet de las cosas, digitalización de fábrica, PLC, Protocolos de Comunicación Industrial.

ABSTRACT

The digital transformation of industrial processes is initially focused on obtaining process data, to later convert them into information that allows making timely decisions, to obtain improvements in the process value chain. Machine-machine communication, M2M, is aimed at the exchange of information between machines in an industrial process, which has allowed the implementation of distributed control systems. The Internet of Things, IoT, a technology proposed by industry 4.0, is raising the possibility of communication not only at the machine level, but also communication with customers, suppliers, with all the actors in the company's value chain. This horizontal and vertical communication is being achieved through communication protocols such as MQTT, RFID, OPC UA, protocols based on Ethernet IP, which are the object of study in this project.

This article presents the characterization of some of the communication protocols used in IoT, for which simulation applications are used to obtain and validate information from sensors and actuators of a manufacturing line; when carrying out the analysis of the evaluation of each one of the protocols used for this study, the high performance of the OPC UA protocol was determined, over the others studied. OPC UA is a quite viable alternative for communication, supported by its easy implementation, it is embedded in a considerable number of programmable automatons such as the S7 1500 PLCs from Siemens, the BOSCH PLCs, in addition to its communication speed, such as the packet size that it supports, allows adjusting to the needs of an IIoT environment.

Keywords: Industrial Communication Protocols, IoT or Internet of things, factory digitization, PLC.

1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias tecnológicas en la industria están marcadas en los últimos años por el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la robotización y la analítica de grandes datos, lo que está provocando la transformación de los procesos industriales. Estos cambios marcan las pautas de lo que se conoce como la cuarta revolución industrial, la industria 4.0 o la manufactura inteligente. El uso de tecnologías de internet de las Cosas (IoT) en la manufactura, también conocido como el Internet de las cosas industrial (IIoT), incorpora el aprendizaje de máquina y tecnología de grandes volúmenes de datos (big data), aprovechando los datos de sensores, comunicación de máquina

a máquina (M2M) y las tecnologías de la automatización que han existido en configuraciones industriales hasta el momento. Es importante incorporar ese tipo de tecnologías de avanzada en el sector académico, haciendo uso de herramientas de aprendizaje modernas, como lo son las plantas didácticas a escala piloto y sus versiones en línea o simuladas. Éstas permiten interactuar y entender las funciones de los diferentes dispositivos utilizados para el control de procesos, así como su reacción a cambios en los mismos. Ejemplos de plantas pilotos didácticas de diferentes temáticas y funciones, encontramos en el Centro de Biotecnología Industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) sede Palmira y en el Centro de Electricidad y Automatización Industrial CEAI, en la Sede de Cali, entre otras.

Con la integración de elementos tecnológicos se puede generar ambientes en los cuales se desarrollan actividades de aprendizaje, los estudiantes se enfrentan a procesos reales, con situaciones características de dichos procesos, aún en tiempos como los que estamos viviendo de Pandemia, ya que se puede trabajar con la versión simulada; estos ambientes de aprendizaje contribuyen a la formación técnica de los estudiantes y a que desarrollen competencias y habilidades profesionales para desempeñar su trabajo en la industria de forma eficaz. A pesar de que las plantas piloto se utilizan para el aprendizaje, deben cumplir con normas y estándares tanto de diseño como de proceso, esto permite replicar de una mejor forma el proceso industrial y también se pueden constituir en un referente de mejoramiento tecnológico para las pequeñas y medianas

industrias de la región.

Para el desarrollo del proyecto se tomó como referencia las siguientes investigaciones: La industria 4.0, relacionada con el concepto de “fabrica inteligente”, en la cual los sistemas tecnológicos de hardware – software monitorean y controlan procesos físicos en los centros de producción, tomando decisiones y acciones descentralizadas. Los sistemas distribuidos de un determinado proceso se comunican entre sí y a la vez con los seres humanos en tiempo real a través de las redes de comunicación inalámbrica transformándose en internet de las cosas (S. Dol & R. Bhinge, 2018).

En (H. Sasajima, T. Ishikuma, & H. Hayashi, 2015) presentan las “Últimas tendencias de estandarización en la automatización industrial”, soportadas en internet y los ordenadores en el futuro se introducirá una nueva sociedad con un Sistema Físico Cibernético (CPS) en los entornos IIoT, denominado como la cuarta generación de la revolución industrial. Este enfoque estratégico tiene como objetivo la creación de nuevos modelos de negocio para la realización de una sociedad de fabricación más inteligente en el futuro.

Una visión general del desarrollo y estandarizaciones de acuerdo a la conectividad de las tecnologías IIoT y plataformas con el potencial de impulsar al desarrollo de la próxima revolución industrial, abordando los principales retos pendientes para alcanzar todo el potencial de la IIoT, es decir, lograr una conectividad segura en el sistema, se relacionan en (S. Mumtaz et al., 2016).

A su vez en, (T. M. Fernández-Caramés & P. Fraga-Lamas, 2018), resaltan que las fábricas inteligentes se definen como fábricas flexibles debido a que todos sus sistemas de producción se encuentran conectados mediante redes e identificadas mediante etiquetas únicas de comunicación que pueden ser identificadas remotamente, capaces de manejar flujos constantes de datos de operaciones e información de la empresa gracias a la Tecnología de la Internet Industrial de las Cosas (IIoT).

En este artículo se pretende presentar los resultados del proyecto de pasantía “Diseño de una arquitectura para la digitalización de una línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos simulada”, trabajo realizado en el Centro de Electricidad y Automatización Industrial CEAI del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, encaminado a dos propósitos, uno servir como sistema didáctico con características industriales en los cuales se pueda mostrar a los empresarios de la región las ventajas de la transformación digital de los procesos de manufactura y como segundo propósito, el disponer en el centro de formación de un ambiente que permita desarrollar actividades de aprendizaje, mediante las cuales los aprendices adquieran competencias de las tecnologías propuestas en industria 4.0.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto estuvo orientado bajo el ciclo PHVA, el cual es una herramienta de gestión de mejora continua. PHVA, siglas de las fases Planear, Hacer, Verificar y Actuar. La principal característica de un ciclo PHVA es que no tiene un punto

inicial y final, en el momento de obtener un resultado se actúa para corregir las posibles desviaciones y así generar proceso de mejora continua.

2.1 ETAPAS DEL PROYECTO

2.1.1 Planeación

En esta etapa se consultó en bases de datos, internet, biblioteca, las especificaciones técnicas de ocho protocolos MQTT, Modbus, RFID, LORAWAN, OPC UA, TCP/IP, SOCKET, AMQP; se elaboró la caracterización de cada protocolo; se realizó la comparación de los protocolos consultados para determinar los cuatro que ofrecían mayores ventajas por sus especificaciones técnicas a nivel de transporte, a nivel de capa física y se definieron las herramientas o paquetes de programación instalables en un entorno IIoT.

2.1.2 Ejecución

En esta etapa se diseñó la arquitectura para la recopilación de datos del entorno IIoT; se determinó la alternativa viable teniendo en cuenta parámetros como: disponibilidad, licencias, economía, manejo de herramientas.

2.1.3 Validación

La Validación se desarrolló en dos fases:

Fase 1. Configuración y desarrollo de una estrategia de intercambio de datos, para conocer sus características y el análisis de los resultados.

Fase 2. Envío y/o recepción de datos de un proceso real entre dos plantas, evaluación y análisis de resultados.

3. DESARROLLO DE CONTENIDOS

Planteamiento de las Necesidades y Especificaciones Técnicas del Cliente.

Se plantea trabajar de manera remota utilizando software y herramientas de fácil acceso y bajo costo para llevar acabo los objetivos y alcance de este proyecto. Se tuvo en cuenta las especificaciones técnicas y necesidades manifestadas por parte de algunos instructores y aprendices del CEAI-SENA (Cliente – Usuario Final), sin olvidar que en dicho centro no se cuenta con la tecnología de avanzada, ni los recursos suficientes para invertir e implementar una estrategia que permita la recopilación de datos de la línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos. A continuación, se muestra tanto la lista de especificaciones técnicas como lista de necesidades con su respectiva importancia:

● Especificaciones Técnicas.

Especificaciones	Medición
5 Sensores Digitales	Bit
1 Sensor Análogo	Entero
4 Actuadores Cilindros Neumáticos	Bit
3 Actuador Eléctrico.	Bit
Distancia entre los sensores y el equipo de control	0.58 metros
Distancia entre los actuadores y el equipo de control	0.9 metros
Distancia entre sistema de adquisición de datos al PLC	5 metros
1 PLC	SIEMENS S7-1500
1 Computador Servidor.	N/A

Tabla 1. Especificaciones Técnicas.

● Requerimientos del Cliente.

Especificaciones	Medición	Rango que se espera
Rapidez	Bit/s	3500-5000 Bit/s
Tiempo de latencia	Segundos	0.00001-0.00009 segundos
Capa de transporte Ethernet	Nivel Capa Física	Ipv4
Uso del producto	Constante	Constante
Tamaño de Paquete	Byte	50-420 Byte
Reconocimiento de Llegada	Si-No	Si
Consumo de Recurso	Kbs	7-15 Kbs
Tiempo de vida dato	Segundos	64-128 Segundos

Tabla 2. Requerimientos del Cliente

3.1. CARACTERIZACIÓN DE PROTOCOLOS

En el desarrollo del proyecto se realizó la caracterizaron de ocho protocolos, en este artículo se presentan dos de ellos:

Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de transporte de mensajes Cliente/Servidor basado en publicaciones y subscripciones a los

denominados “tópicos”. Cada vez que un mensaje es publicado será recibido por el resto de los dispositivos adscritos a un tópico del protocolo.

Protocolo OPC/ OPC UA

OPC es una tecnología de comunicación con una arquitectura de cliente y servidor. Una aplicación actúa de servidor proporcionando

datos y otra actúa como cliente leyéndolos o manipulándolos.

La Arquitectura Unificada OPC (OPC UA) es un protocolo de comunicación independiente del proveedor para aplicaciones de automatización industrial. Se basa en el principio cliente-servidor y permite una comunicación continua desde los sensores y actuadores individuales hasta el sistema ERP o la nube. El protocolo es independiente de la plataforma y dispone de mecanismos de seguridad integrados. OPC UA es flexible y totalmente independiente, por lo que está considerado el protocolo de comunicación ideal para la implementación de la Industria 4.0 (Rodríguez, M., 2016).

3.2 COMPARACION DE CRITERIOS.

Al realizar la caracterización de cada uno de los protocolos anteriores, se procede a compararlos, de acuerdo a las especificaciones técnicas y necesidades planteadas por el cliente; en este caso los criterios más importantes para evaluar son: el tipo de licencia, la instalación, el consumo, entre otros. Sin embargo, esta comparación, no es concluyente para tomar una decisión respecto a qué protocolos escoger, por tanto, se realiza una ponderación entre los protocolos, basada en los criterios planteados.

	MQTT	MODBUS	RFID	LORAWAN	OPCUA	TCP/IP	SOCKET	AMQP
Tipo de licencia	Gratuita	N/A	N/A	Gratuita	Gratuita	N/A	N/A	N/A
Fácil Instalación	SI	N/a	SI	NO	SI	N/A	N/A	SI
Consumo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Bajo
Seguridad	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Niveles de Capa	3	3	3	4	4	4	3	3
Alcance	Medio	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo

Tabla 3. Comparación protocolos

A continuación, se procede a evaluar mediante ponderación de criterios:

	MQTT	MODBUS	RFID	LORAWAN	OPC UA	TCP/IP	SOCKET	AMQP	SUMA
MQTT		5	5	5	1	3	3	5	27
MODBUS	1/5		3	3	1	5	1	5	18.2
RFID	1/5	1/3		3	1	1	5	5	15.53
LORAWAN	1/5	1/3	1/3		1	3	5	5	14.86
OPC UA	5	5	5	5		3	5	5	33
TCP/ IP	1/3	1	5	1/3	1/3		5	5	16.99
SOCKET	1/3	5	1/5	1/5	1/5	1/5		5	11.13
AMQP	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5		1.2
S U M A T O T A L									138

Tabla 4. Ponderación de Criterios

Se realizó la comparación (Tabla 3) y ponderación (Tabla 4). Se evidencia que los protocolos que mejores características técnicas tienen para poder llevar a cabo un intercambio de datos según las necesidades requeridas y criterios evaluados son: El OPC UA, seguido del MQTT y el Modbus, por último, el TCP/IP, sin embargo, para no ser

redundante, teniendo en cuenta que todos los protocolos utilizados se basan en él, se decidió utilizar el quinto clasificado: Método de Comunicación Socket. Cabe resaltar que para los protocolos escogidos se tuvo en cuenta también el criterio personal de los integrantes del proyecto.

3.4 DEFINICION DE HERRAMIENTAS, PROGRAMAS O DISPOSITIVOS.

Se utiliza las siguientes herramientas y programas teniendo en cuenta la disponibilidad en el C.E.A.I.:

- TIA Portal
- CIROS Education
- Node – Red
- Wireshark
- PLC SIM Y PLC SIM ADVANCE 3.0
- Mosquitto Broker
- Raspberry Pi
- Modbus Poll

3.2 DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS DEL ENTORNO IIOT

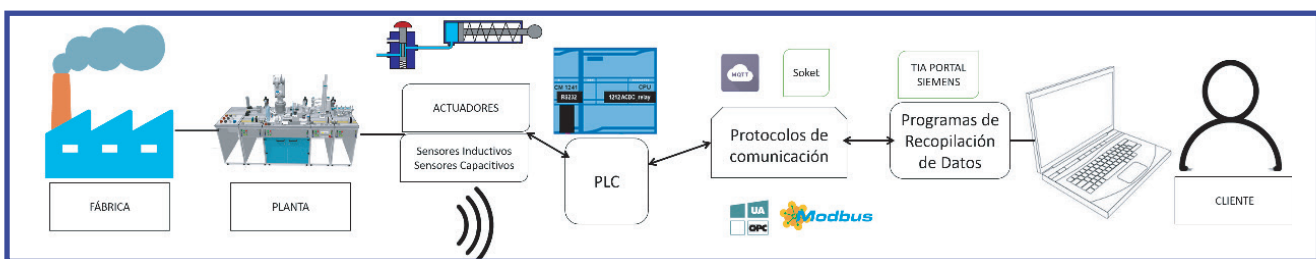


Figura 1. Arquitectura para la digitalización de una línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos

La Figura 1 nos muestra el diseño de una arquitectura para recopilación de datos en un entorno IoT, teniendo en cuenta las necesidades básicas que requiere una

fábrica tipo PYME donde se encuentran varios procesos y las distancias de transmisión de datos no es extensa, en base a esto pasaremos a explicar cada uno de los actores que intervienen en la arquitectura:

• **Fábrica:** La fábrica simula a la empresa donde se efectúa todo el ambiente IIoT, donde se ubicarán las plantas, los motores, sensores, actuadores, entre otros elementos.

• **Planta:** Representa las estaciones de trabajo donde se efectúa el proceso de fabricación de cilindros neumáticos.

Actuadores y Sensores: Son los encargados del accionamiento de las diferentes tareas, en cada planta podemos encontrar diversos tipos de sensores tanto inductivos como capacitivos y lo mismo pasa con los actuadores donde encontraremos cilindros neumáticos entre otros.

PLC: Es el autómata programable donde entra y sale información proveniente tanto de los actuadores y sensores, como del proceso en general.

• **Protocolos de comunicación:** son los encargados de hacer el traslado de la información entre los dispositivos y el PLC y entre el PLC y la herramienta para la recopilación de datos.

• **Programa Recopilación de Datos:** Es el encargado de la recopilación y de

compartir la información que reciba a través de los protocolos de comunicación proveniente de los procesos.

- **Cliente:** Son los encargados a darle manejo a todo el sistema, podrá ser un operario de planta, un supervisor, un aprendiz Sena, entre otros.

toman como referencia los siguientes:

- **IoT Sensor Telemecanique:** Es un sensor de la marca Telemecanique Sensors, el cual permite monitorización de forma remota de equipos industriales conectados vía ethernet y con acceso a la nube.

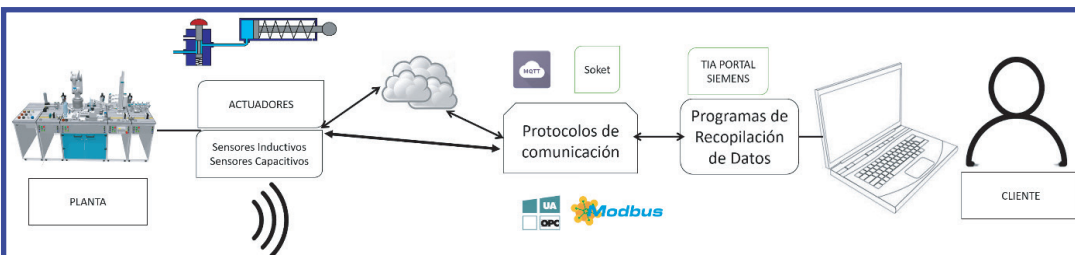


Figura 2. Arquitectura para la digitalización de una línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos directa y/o en la nube

La Figura 2 muestra el segundo diseño de arquitectura para la recopilación de datos IoT. Dicha arquitectura está planteada con el fin de ahorrar procesos para el análisis y la recopilación de datos, es decir tener dispositivos como sensores y actuadores inteligentes que puedan compartir información directamente a los programas de recopilación de datos, así estos datos se puedan obtener de una manera directa o en la nube.

Por lo cual en el diseño solo se ven involucradas la planta, los sensores y actuadores inteligentes, la nube, los protocolos de comunicación industrial, los programas de recopilación de la información compartida tanto por los sensores como por los actuadores y por último un cliente final.

Para esto se consultaron los sensores y actuadores que actualmente ofrecen dicha tecnología, y se encontraron varios, se

- **IoT Standalone Sensor:** es el terminal IoT desarrollado por Khomp para integrar sensores de medición directamente a la

solución de IoT (Raquel Cruz, 2019).

- **Actuadores Belimo Cloud:** ofrece a una línea de actuadores de compuertas y válvulas de Internet de las cosas (IoT), que ofrecen conectividad en la nube para una puesta en marcha rápida y fácil y un monitoreo remoto.

Para determinar cuál de las alternativas planteadas era viable para el proyecto, se analizaron 3 aspectos principalmente: económico, facilidad de adquisición de software o elementos para su funcionamiento e instalación, y si cumplían los requisitos básicos para la recopilación de datos, además la infraestructura instalada.

En el aspecto económico, podemos decir que es viable la alternativa uno (Figura 1), debido a que se están usando softwares libres para la instalación de protocolos, no se requiere de elementos extras para su funcionamiento, el costo total para la puesta a punto de los protocolos es de cero, esto no quiere decir que sea la mejor opción, se prioriza en este caso, el aspecto económico

debido a que no se cuenta con los recursos para invertir en una mejor tecnología. La alternativa dos (Figura 2) la implementación es más costosa ya que los softwares para su implementación no son libres.

En las dos alternativas, la adquisición del software es sencilla de manera que la podemos encontrar en las páginas de los creadores como el caso del MQTT, en el caso de Modbus, OPC UA, Socket ya vienen predeterminada las librerías en el programa de TIA Portal v16, por tanto, no se necesita utilizar parches informáticos con el fin de modificar el comportamiento del programa (Crack Informático) ni elementos extras.

La instalación de la alternativa uno, no necesita de técnicas especializadas, ni poseer mucho conocimiento en el tema de industria 4.0, debido a que son protocolos muy ligeros, de fácil entendimiento y lo más importante que funcionan bajo la capa de transporte TCP/IP que es de los protocolos más usados, conocidos e importantes en el internet en todos los ámbitos.

La alternativa dos, es posible que requiera la contratación de especialista para su instalación. Por todo lo mencionado anteriormente resaltamos que la alternativa uno (Figura 1) es viable para realizar la recopilación de datos en la línea de fabricación de cilindros neumáticos, ya que cumple cada uno de los criterios que hacen parte de las especificaciones técnicas y requerimientos que se plantearon al comienzo de la planeación del proyecto.

3.3 VALIDACIÓN

En esta validación se abordaron 2 fases, en la primera se realizó la configuración de una estrategia de intercambio de datos de cada protocolo, los resultados que se obtuvieron con algunos parámetros que se seleccionaron para la evaluación, se analizaron. En la segunda fase se realizó una práctica con los protocolos en dos procesos de línea de fabricación de cilindros neumáticos sometidas a estudio, haciendo análisis de los resultados obtenidos y comparando con los resultados que arrojó la segunda fase.

Para la fase 2, los 2 procesos de la línea de fabricación de cilindros neumáticos, escogidos para el análisis de datos fueron: “Distribución de los cilindros neumáticos” y “Almacenamiento de cilindros neumáticos” Las fases son las siguientes:

Fase 1. Configuración y desarrollo de una estrategia de intercambio de datos, para conocer sus características y el análisis de los resultados.

La actividad realizada en esta fase fue la configuración para el intercambio de datos por medio los protocolos utilizando PLC Siemens S7-1500, aquí se realizó el análisis y comparativa de los resultados teniendo en cuenta los parámetros como por ejemplo el tiempo que éste se demora en enviar y recibir diferentes datos, la velocidad, nivel de capa, entre otros. Para empezar el análisis se observó que cada vez que se realizaba la practica arrojaban valores distintos, por ende, se toma un escenario ideal y con promedios en cada ítem a evaluar. Los

resultados que se mostrarán a continuación hacen parte de unos parámetros los cuales son:

- Internet suministrado vía ethernet de 4Mb.
- Distancia entre dispositivos de 9mt.
- Computador 1: Memoria RAM 8 Gb, AMD 10 8 Núcleos.
- Computador 2: Memoria RAM 4Gb Intel i5 5th generación 8 Núcleos.

La velocidad del internet varía dependiendo de la cantidad de dispositivos conectados a la red por ende la práctica se realizó solo con los dos computadores conectados vía Ethernet y sin servicio a la red wifi.

Cada uno de los computadores simula un PLC S7-1500, en cada uno de ellos se tiene instalado el programa de TIA Portal v16 y el complemento de simulación PLCSIM Advance 3.0.

La estrategia que se llevó a cabo para cada uno de los protocolos sometidos a evaluación, fue intercambiar datos entre los dos dispositivos PLC 1500 con un tipo de dato (String) y la cantidad de datos (10), con el fin de poder analizar cada uno de los protocolos y hacer una comparativa. Esta práctica no está sujeta a ningún proceso de la línea de fabricación de cilindros neumáticos, los datos fueron aleatorios.

Para el análisis de desempeño los datos fueron sacados de la plataforma de análisis y flujo de datos llamada Wireshark.

Para la prueba de la fase 1, con el protocolo

MQTT, no se utilizó dos PLC para el envío de datos, debido a que no se pudo configurar uno como cliente y otro como publicador, para esto se utilizó Node Red y un solo PLC 1500, de igual manera se pudo analizar los tiempos de respuesta, el peso del dato que se envíe y demás. **Análisis de los resultados Fase 1**

• Tamaño de paquete:

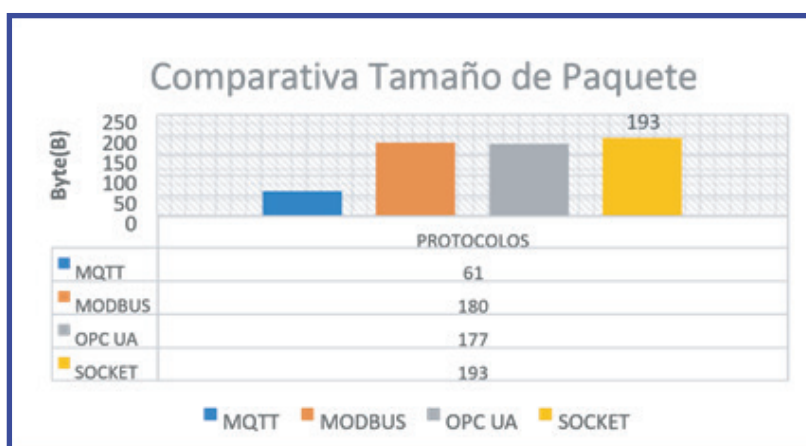


Figura 3. Comparación Tamaño Paquete

En la Figura 3, se observa la comparativa de tamaño de paquete que se envió frente a cada uno de los protocolos, según los resultados obtenidos en cada una de las tablas donde se evaluó este parámetro, dando como resultado que el protocolo MQTT envió un paquete de menor tamaño con una diferencia de más del doble (61 Byte de MQTT frente a los 177 Bytes de OPC UA) por ende en este parámetro el protocolo MQTT envía paquetes de menor tamaño.

- **Tiempo de Latencia:**

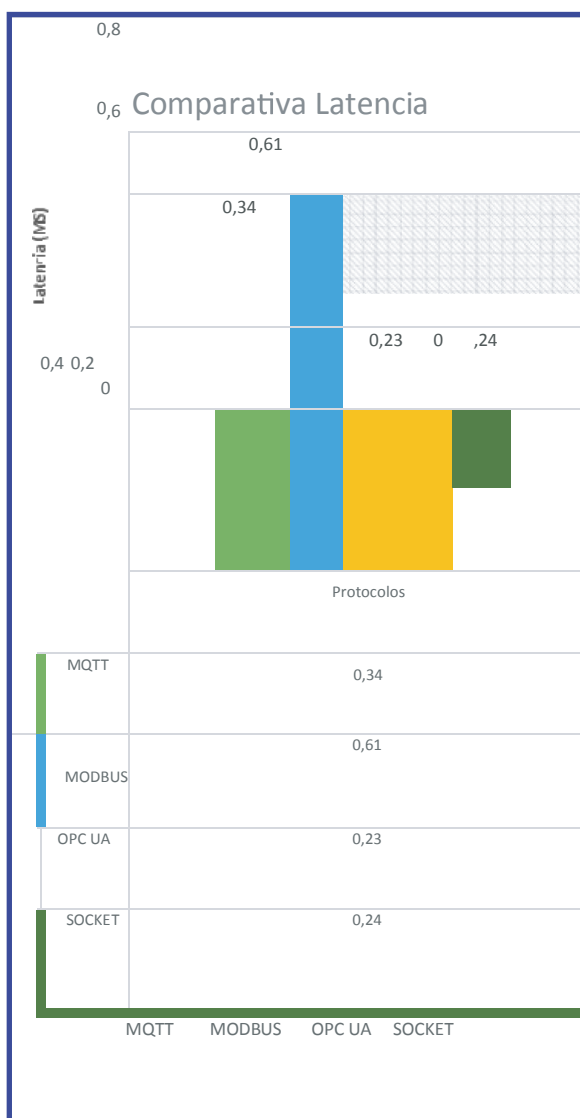


Figura 4. Comparación tiempo Latencia.

En la figura 4, se observa la comparativa de tiempo de latencia, esto corresponde al tiempo que tardó el envío del paquete entre los dos PLC en cuestión en este caso, se observa que el protocolo Modbus fue el que más se demoró enviando el paquete de un destino al otro y el menor fue el protocolo OPC UA, aunque la diferencia de tiempos es casi inapreciable, para algún proceso de manufactura puede ser importante tener una

respuesta rápida.

- **Consumo Recurso:**

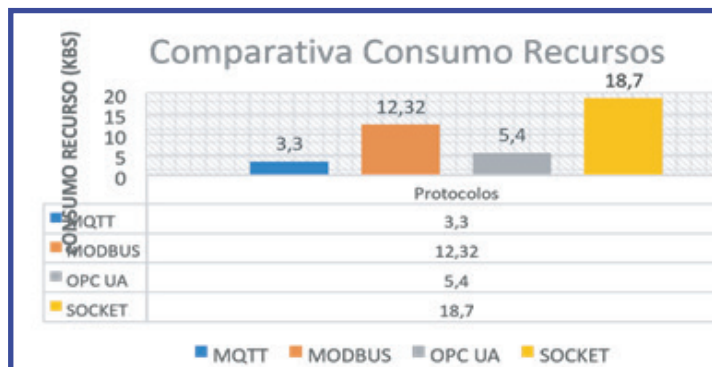


Figura 5. Comparación Consumo de Recursos.

En la Figura 5 se observa la comparativa de consumo de recurso por parte de los protocolos evaluados, dando como resultado al método de comunicación Socket como el que mayor consumo de recurso requiere para cumplir la práctica y el que menos consume requiere fue el protocolo MQTT.

Velocidad

En la Figura 6 se observa la comparativa de velocidad entre los protocolos, lo que podemos ver es que no hay una diferencia significativa entre los valores promedios de cada uno de los protocolos, teniendo como el OPC UA el que obtuvo mayor velocidad de transmisión lo cual va muy ligado al dato que se obtuvo al tiempo de latencia que fue el menor, por otro lado, el protocolo MQTT fue el que obtuvo menor velocidad en promedio los cuatro protocolos analizados en esta práctica.

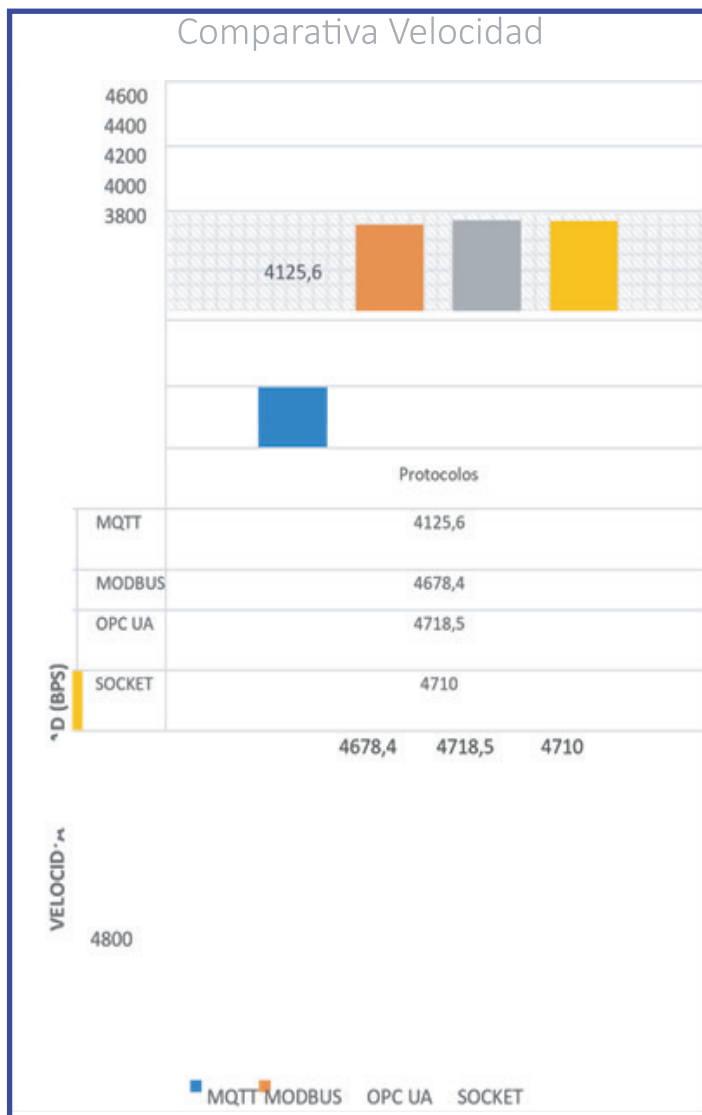


Figura 6. Comparación de Velocidad.

Tiempo de vida del dato

En la Figura 10, se observa la comparativa de tiempo de vida del dato entre cada uno de los protocolos analizados, donde se detalla el tiempo que está disponible el paquete en la red, donde el protocolo Socket y OPC UA son los que más tiempo duran respecto a MQTT y Modbus.

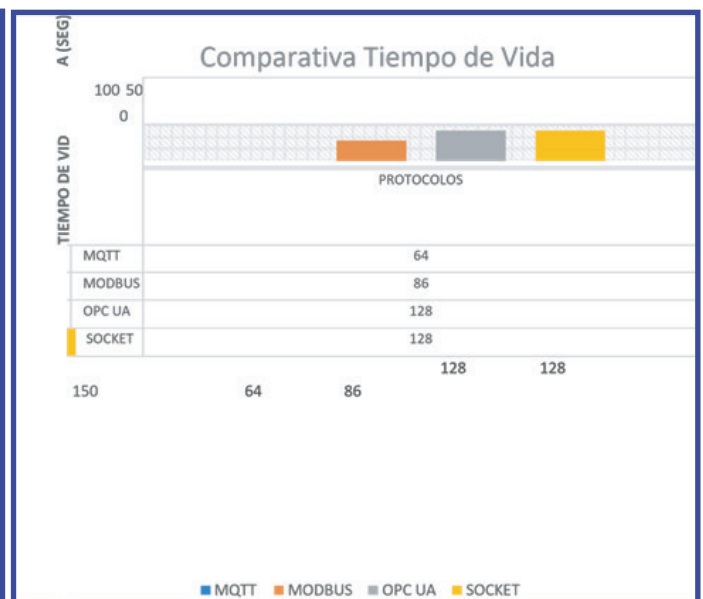


Figura 7. Comparación de Tiempo de Vida.

Fase 2. Envío y/o recepción de datos de un proceso real entre dos plantas, evaluación y análisis de resultados.

La actividad realizada en esta fase fue el intercambio de datos entre dos procesos que se dan en la línea de fabricación de cilindros neumáticos, los cuales están simulados en el programa de TIA Portal con todos sus parámetros de funcionamiento. Lo que se modificó tomando como referencia a la fase 2 de validación, fue el tipo de variable de dato que en este caso es (Bool), teniendo en cuenta que los datos que se comparten son provenientes de sensores y actuadores. Para compartir información entre ambos procesos productivos de la línea de fabricación de cilindros neumáticos, también se cambia el método o protocolo usado normalmente para este proceso (TSend_C y TRCV_C) por las instrucciones correspondientes a cada uno de los cuatro protocolos. Los datos que se compartieron fueron, por ejemplo: activar el sensor, estado del sensor, estado

del actuador, desplazar la pieza, entre otros. Por lo cual fueron incontable número de datos y paquetes que se intercambiaron en esta práctica. Después de realizar la práctica con cada uno de los protocolos se procede a recopilar la información de los parámetros que se plantean para evaluar cada uno de estos protocolos, los resultados están basados en el análisis que genera la herramienta Wireshark.

Luego de esto se muestra de manera breve (en la figura 8) la herramienta Tia Portal que contiene la programación de las plantas seleccionadas junto con el programa de Ciro's Studio donde se observa la línea de fabricación de cilindros neumáticos simulada, ambas herramientas compiladas para compartir información de sus procesos.

lo cual permitió que un PLC, S7-1500, del proceso de distribución, actuara como publicador y el otro PLC, S7-1500, del proceso de almacenamiento, se pudiera suscribir al tópico en Node-Red. Se logró hacer la comunicación del protocolo MQTT.

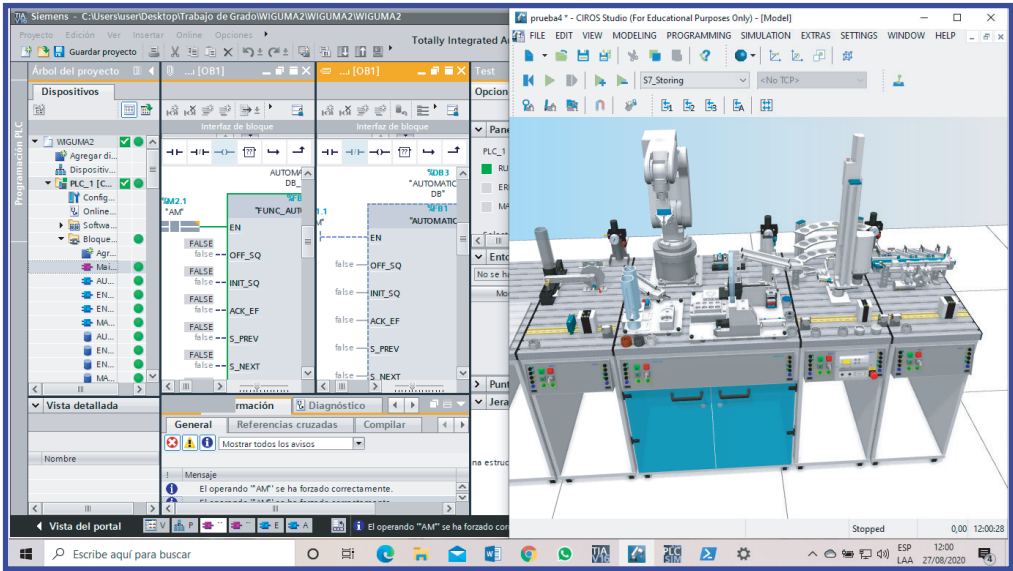


Figura 8. Compilación de dos procesos de producción con TIA Portal v16 y Ciro's Studio.

Resultados de la practica:

Para el protocolo MQTT se tuvo que realizar un proceso adicional, debido a que no se logró conectar los dos PLC, uno como publicador y otro como suscriptor, utilizando el Broker de mosquito, por tanto, lo que se hizo fue utilizar la herramienta NODE-RED como un Broker simulado a través de una Raspberry Pi 4,

● MQTT:

PROCESO	Tipo de dato	Transporte Capa de	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	latencia (seg) Tiempo de	internet Capa de	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	S7	Publicador/ Suscriptor	119	1.214	IPv4	Si	9.32	3147.23	128
Almacenamiento- Distribución	Bool	S7	Publicador/ Suscriptor	70	1.845	IPv4	Si	5.1	3954.2	128

Tabla 5. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark

● MODBUS

ANÁLISIS Y RESULTADOS

PROCESO	Tipo de dato	Capa de Transporte	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	Tiempo de latencia (seg)	Capa de internet	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	311	0.00392	IPv4	Si	12.59	4496,14	64
Almacenamiento- Distribución	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	61	0.000027	IPv4	Si	8.3	4659,98	128

En la Fase 2 se validó mediante una actividad práctica el comportamiento de los cuatro protocolos, midiendo

Tabla 6. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark

el número de datos, conociendo su arquitectura, el tamaño de paquete, tiempo de latencia, consumo de recursos, velocidad, entre otros, comparándolos y evaluándolos.

● OPC UA

PROCESO	Tipo de dato	Capa de Transporte	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	Tiempo de latencia (seg)	Capa de internet	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	286	0.000027	IPv4	Si	13.3	4935,11	64
Almacenamiento- Distribución	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	61	0.00373	IPv4	Si	7.7	4325,78	128

Tabla 7. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark.

En la fase 3 se evaluó mediante actividad práctica en la línea de fabricación de cilindros

neumáticos, simulada, el comportamiento de los 4 protocolos con dos procesos específicos de la planta cuyos resultados estuvieron ligados a la cantidad de componentes que se tenían (2 sensores digitales, 2 actuadores de

● SOCKET

PROCESO	Tipo de dato	Capa de Transporte	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	latencia Tiempo (seg)	Capa de internet	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	303	0.000030	IPv4	Si	15.7	4952,87	84
Almacenamiento- Distribución	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	55	1,007	IPv4	Si	4.32	4358,21	64

Tabla 8. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark

los cuales 1 es eléctrico y el otro neumático, un computador el cual actuaba como

servidor), a las especificaciones técnicas y requerimientos del cliente; se concluyó cuál de los protocolos se ajustaba de mejor manera a estos requisitos. Se concluye que

los 4 protocolos funcionaron de una manera correcta con respecto a los requerimientos planteados por el cliente al inicio del proyecto, lo que permitió llevar a cabo cada una de las actividades propuestas, también se logró hacer la recopilación de los datos de cada uno de los parámetros y se analizó los resultados obtenidos.

Se evidenció un patrón en los resultados de los procesos de distribución de cilindros neumáticos y de almacenamiento de cilindros neumáticos: El primer proceso (Distribución > Almacenamiento) genera una mayor velocidad, menor tiempo de latencia, mayor tamaño de paquete y mayor consumo de recursos, mientras que en el proceso (Almacenamiento -> Distribución), se tiene como resultado una disminución significativa en estos parámetros. Se concluye, por tanto, que se comparte mayor cantidad de información y de paquetes en el primer proceso.

Cabe resaltar que el protocolo OPC UA basado en los resultados obtenidos tanto en la fase 2 con un tipo de dato (String) como en la fase 3 con un tipo de dato (Booleano), tuvo un desempeño significativo frente a los otros protocolos teniendo en cuenta los parámetros analizados, con tiempos de respuestas menores, con una mayor velocidad, y con tamaño de paquete menores a los otros protocolos evaluados.

En cada una de las fases se evidenciaron errores pragmáticos cuando se ejecutaban los programas que contenían cada uno de los protocolos analizados, se presentaban inconvenientes con la red que se creaba entre el PLC y a la aplicación de TIA Portal.

4. CONCLUSIONES

- La caracterización de protocolos permite identificar las especificaciones técnicas de cada uno de los cuatro protocolos implementados para conocer en detalle sus ventajas y desventajas, respecto a: tipo de licencia, fácil instalación, consumo, seguridad, nivel de capa de Ethernet, alcance. Esta información es útil para los aprendices SENA en su proceso de aprendizaje de selección e instalación de sistemas de comunicación IIoT, teniendo en cuenta los requerimientos del cliente y las especificaciones técnicas de cada uno de los protocolos, también es útil para las PYMES y diferentes clientes que requieren conocer a fondo cada uno de ellos.
- La posibilidad de utilizar aplicaciones de simulación permitió conocer, implementar y validar información proveniente de sensores y actuadores de una línea de fabricación de cilindros neumáticos simulada, haciendo uso de 4 protocolos de intercambio de datos, en un entorno IIoT.
- Al realizar el análisis de la evaluación de cada uno de los protocolos que se utilizaron para este estudio se puede determinar que, para los procesos de almacenamiento y distribución, el protocolo OPC UA, representa una alternativa bastante viable para la comunicación, debido a que es de fácil implementación, se encuentra embebido en la mayoría de PLC's S7 1500, de Siemens, tanto la velocidad como el tamaño de paquete que soporta permite ajustarse a las necesidades de

un entorno IoT.

- Todos los procesos planeados conforme a la metodología propuesta en este proyecto, fueron debidamente documentados y organizados, a fin de convertirse en fuente de información para los aprendices SENA, las PYMES y diferentes clientes que requieran conocerla.
- Al desarrollar las prácticas utilizando la metodología de PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), se logró identificar algunos errores que se pueden cometer cuando se realizan las diferentes actividades planteadas, haciendo la validación pertinente en cada avance que se haga para poder actuar, corregir y solucionar cada una de las dificultades que se presenten en las etapas, a medida que se va avanzando en el proyecto.

Referencias

- H. Sasajima, T. Ishikuma, and H. Hayashi. (2015) "Notice of Removal: Future IIOT in process automation — Latest trends of standardization in industrial automation, IEC/TC65," in 2015 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015, pp. 963–967. 10.1109/SICE.2015.7285569.
- Raquel Cruz Xavier (2019). "Terminales, gateways y sensores IoT: conozca la línea completa de Khomp,".
- Rodriguez, M. (2016). "Protocolo OPC UA," Revista Digital INESEM. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/protocolo-opc-ua-caracteristicas-yaplicaciones/>.
- S. Dol and R. Bhinge. (2018). "SMART motor for industry 4.0," in 2018 IEEMA Enginne Infinite Conference, eTechNXT 2018, pp. 1–6. 10.1109/ETECHNXT.2018.8385291.
- S Mumtaz, A. Alsohaily, Z. Pang, A. Rayes, K. F. Tsang, and J. Rodriguez. (2016). "Massive Internet of Things for Industrial Applications: Addressing Wireless IIoT Connectivity Challenges and Ecosystem Fragmentation," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 11, no. 1, pp. 28–33, 2017. 10.1109/MIE.2016.2618724.
- T. M. Fernández-Caramés and P. Fraga-Lamas. (2018). "A Review on Human-Centered IoT- Connected Smart Labels for the Industry 4.0," IEEE Access, vol. 6, pp. 25939–25957, 2018. 10.1109/ACCESS.2018.2833501.



PRONÓSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO PROCESOS GAUSSIANOS: UN ANÁLISIS COMPARATIVO

Short-term load demand forecasting using gaussian processes: a comparative analysis

Abstract

Load demand forecasting is an essential component for planning power systems, and it is an invaluable tool to grid operators or customers. Many methods have been proposed to provide reliable estimates of electric load demand, but few methods can address the problem of predicting energy demand from a probabilistic point of view. One of them is the Gaussian processes (GP) that considering an adequate covariance function are suitable tools to carry out this load forecasting task. In this article, we show how to use Gaussian processes to predict electrical energy demand. Additionally, we thoroughly test various covariance functions and provide a new one. The performance of the proposed methodology was tested on two real data sets, showing that GPs are

• Jorge Eliécer Loaiza Muñoz - Jorge.loaiza@utp.edu.co - Universidad Tecnológica de Pereira

AUTOR

competitive alternatives for short-term load demand forecasting compared to other state-of-the-art methods.

Keywords: Covariance functions, Gaussian process, short-term load forecasting.

Resumen

El pronóstico de consumo de energía eléctrica es un componente esencial para los sistemas de distribución y es

una herramienta invaluable para los comercializadores y clientes de este recurso. Muchos métodos han sido propuestos para proveer estimaciones confiables de la demanda de energía eléctrica, pero pocos abordan el problema desde un punto de vista probabilístico. Un método probabilístico que emplea una función de covarianza para abordar este tipo de tareas, son los procesos Gaussianos (GPs). En este artículo, mostramos cómo usar los GP para predecir la demanda de energía eléctrica. Adicionalmente, probamos varias funciones de covarianza y proponemos una. El rendimiento de la metodología propuesta fue probado en dos conjuntos de datos diferentes, mostrando que los GPs son alternativas competitivas para tareas de estimaciones en cortos horizontes al compararlo con los métodos propuestos en el estado del arte.

Palabras clave: Función de covarianza, proceso Gaussiano, pronóstico a corto plazo, demanda, energía eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

La predicción de la demanda de energía eléctrica es una componente clave para el planeamiento y operación de los sistemas eléctricos de potencia. Es también empleada para el análisis de confiabilidad y seguridad de los sistemas de potencia en mercados de energía competitivos (Fan G., Peng L., & Hong W., 2018). De lo anterior, es necesario que esta componente deba contemplar la variabilidad intrínseca en la operación de los sistemas de potencia, como por ejemplo el comportamiento del clima, la anticipación para comprar o vender

energía eléctrica, o la alta penetración de generación distribuida. Todos estos factores introducen incertidumbre en la predicción de la demanda de energía y hacen que esta tarea sea un reto actual de investigación (Fan G., Peng L., & Hong W., 2018).

Con el fin de abordar lo anterior, muchos métodos han sido propuestos en la literatura (Fan G., Peng L., & Hong W., 2018), (Van Der Meer D. et al., 2018), (Zhang J. et al., 2018), (Tarsitano A. & Amerise I., 2017). Estos métodos pueden ser clasificados en dos grupos: los métodos estadísticos y métodos basados en inteligencia artificial (Fan G., Peng L., & Hong W., 2018). Por un lado, los enfoques estadísticos usan datos de la demanda de energía para encontrar relaciones lineales entre variables exógenas o periodos de tiempo y la demanda de energía (Fan G., Peng L., & Hong W., 2018), (Van Der Meer D. et al., 2018). Entre las técnicas más empleadas dentro de este primer grupo se pueden encontrar los modelos autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA) (Zhang J. et al., 2018), (Tarsitano A. & Amerise I., 2017), modelos lineales de regresión (Dudek G., 2016), (Zamo M. et al., 2014), modelos de suavizado exponencial (Oliveira E. & Oliveira F., 2018), filtros de Kalman (Takeda H., Tamura Y. & Sato S., 2016), entre otros. Estos métodos presentan facilidad en su implementación, sin embargo, el principal inconveniente es el uso de simplificaciones o relaciones lineales para el modelado de los datos de la demanda de energía (Fan G., Peng L., & Hong W., 2018). Por otro lado, los métodos basados en inteligencia artificial usan grandes cantidades de datos para realizar la predicción de la demanda

de energía. Los más usados son: sistemas expertos (I. da Silva & L. de Andrade, 2016), (Duan Q., Liu J. & Zhao D., 2017), máquinas de vectores de soporte (Chen Y. et al., 2017), (Fan G. et al., 2016), y redes neuronales artificiales (Jimenez J., Donado K. & Quintero C., 2017), (Singh P. Dwivedi P., 2018). Una de las dificultades de estas metodologías es depender del uso del conocimiento de un experto para la sintonización o la especificación de parámetros para realizar una correcta predicción (Van Der Meer D. et al., 2018). Es el caso de las redes neuronales donde es necesario que un experto defina la cantidad de capas y neuronas por capa para el buen funcionamiento de este modelo, es decir, el número óptimo de capas y neuronas en una red neuronal se determinan de manera empírica o basada en experiencias previas (X. Cao et al., 2015).

En la actualidad muchos trabajos han empleado enfoques profundos de aprendizaje, dentro de los cuales se pueden destacar las redes neuronales profundas (G. Sideratos, A. Ikononopoulos & N. Hatziaargyriou, 2020). (Deep Neural Network-DNN) las cuales son redes que se caracterizan por la utilización de redes neuronales compuestas de múltiples capas de extracción de características y transformación de las entradas. Otro enfoque de aprendizaje profundo son las redes neuronales convolucionales (Q. Huang, J. Li & M. Zhu, 2020). Son redes neuronales más potentes que generan mapas de características permitiendo una mejor toma de decisiones a la hora de realizar tareas de clasificación o regresión. Así mismo, se han usado redes neuronales recurrentes y redes neuronales de larga memoria a corto plazo

en la predicción de la demanda de energía eléctrica (W. Kong et al., 2019). La falencia más representativa de estas redes profundas es la cantidad de datos requeridos para ser entrenadas, los cuales son del orden de millones. Esto sumado a su compleja arquitectura, las hace poco atractivas por su alto costo computacional dado que requieren de hardware especial como puede ser una Unidad de Procesamiento Gráfico o GPU en inglés, para el entrenamiento (Q. Huang, J. Li & M. Zhu, 2020), (Z.-Y. Dou et al., 2020).

Como un esfuerzo para solucionar los inconvenientes anteriormente mencionados, los procesos Gaussianos (GPs) para regresión han sido empleados como alternativa para modelar la demanda de energía eléctrica. Por ejemplo, en (Van Der Meer D. et al., 2018) han realizado una predicción de la radiación solar y demanda de energía, mostrando mejor rendimiento ante la regresión basada en máquinas de vectores de soporte. Por otro lado, en (Sheng H et al., 2017) utilizaron un GP incorporando detección de datos espurios en la predicción de la demanda de energía. En (Lauret P., David M. & Calogine D., 2012), han comparado redes neuronales, redes neuronales Bayesianas y los GPs para la predicción de la demanda de energía. A partir de este estudio, los autores observan que los GPs superan en rendimiento a las redes neuronales. Sin embargo, estos estudios no hacen énfasis en el análisis de la función de covarianza, la cual es un componente clave para la utilización de los GPs en tareas de clasificación o regresión (Shepero, M. et al., 2018).

Este artículo muestra como usar los GPs para la predicción de la demanda de energía

eléctrica usando diferentes funciones de covarianza base, tales como: exponencial cuadrática (SE), periódica (PER), cuadrática racional (RQ), y se propone una combinación de dos de ellas. Con el fin de realizar un análisis comparativo se aplicarán otros métodos de predicción del estado del arte usando dos bases de datos reales de demanda de energía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las simulaciones realizadas en este trabajo de investigación fueron realizadas en MATLAB empleando el Toolbox GPML versión 4.2.

2.1 Bases de datos

Para este análisis comparativo se han empleado datos de consumo de demanda de energía eléctrica en Colombia y en Bélgica. Los datos de la demanda de energía en Colombia fueron extraídos del operador del sistema interconectado nacional a través del portal de XM (XM, 2020), y como datos alternos para este análisis, se usaron los datos de un operador del sistema de transmisión en Europa del grupo Elia (E. Group, 2020).

2.2 Procesos Gaussianos para el modelado probabilístico de la demanda de energía

Dentro de los métodos propuestos para modelar la demanda de energía, los GPs pueden ser vistos como una herramienta poderosa que proporciona un modelado con diferentes virtudes (Shepero, M. et al., 2018). Con el uso de los GPs se puede obtener un modelo probabilístico de la demanda

de energía y así mismo se puede evitar la dependencia de una definición específica de la estructura del modelo, lo que si pasa con las redes neuronales artificiales (Van Der Meer D. et al., 2018). Una de las maneras de lograr este modelado es considerando que la demanda de energía está dada por la ecuación (1).

$$y_t = f(x_t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

donde y_t es el valor de la demanda de energía en el instante t ; x_t es el vector de entrada, el cual está formado por eventos pasados de la demanda de energía. ε_t es la incertidumbre presente en los datos del consumo energético, los cuales se asumirán que se distribuyen normalmente (Kevin P., 2012), es decir, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ donde σ^2 es la varianza presente en las observaciones, f es la función donde está consignada la representación no lineal de la demanda de energía. Con lo anterior definido, un proceso Gaussiano puede ser especificado por una función media $m(x)$ como se detalla en la expresión (2), y una función de covarianza o kernel $k(x, x')$ (C. Rasmussen & C. Williams, 2006) como se referencia en la expresión (3), es decir,

$$m(x) = E[f(x)] \quad (2)$$

$$k(x, x') = E[(f(x) - m(x))(f(x') - m(x')))] \quad (3)$$

donde $E[f(x)]$ corresponde al valor esperado de $f(x)$; x y x' representan los datos de entrenamiento y de prueba respectivamente. A partir de lo anterior, un proceso gaussiano se puede representar como en (4):

$$f(x) \sim \mathcal{GP}(m(x), k(x, x')) \quad (4)$$

Una componente crucial en un proceso Gaussiano es la función de covarianza (Bagas Abisena & Swastanto, 2016). Esta función es la encargada de codificar hipótesis iniciales (por ejemplo, variaciones suaves o periodicidad) del problema de modelado. Además, la selección de una función de covarianza está sujeta a que sea una matriz de covarianza semi-definida positiva (C. Rasmussen & C. Williams, 2006). Las funciones de covarianza más usadas son la exponencial cuadrática, cuadrática racional y la periódica (Shepero, M. et al., 2018).

2.3 Funciones de covarianza base

2.3.1 Función de covarianza exponencial cuadrática

Es una función de covarianza entre dos variables aleatorias y está especificada por la ecuación (5).

$$k(x, x') = \sigma^2 \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{2\lambda^2}\right) \quad (5)$$

donde σ^2 y λ^2 son parámetros de varianza y escala de la función de covarianza. Esta función es ampliamente usada en los procesos gaussianos por su capacidad de lizado o smoothing (Wilson, A., & Adams, R. (2013, February). En este estudio, esta función de covarianza se denotará como **SE**.

2.3.2 Función de covarianza cuadrática racional

Es una función de covarianza que permite modelar datos variantes en múltiples escalas y puede ser vista como una función SE con diferentes escalas de longitud (C. Rasmussen & C. Williams, 2006). Esta función está dada

por la expresión (6).

$$k(x, x') = \exp\left(1 + \frac{(x - x')^2}{2\alpha\lambda^2}\right)^{-\alpha} \quad (6)$$

donde α y λ son parámetros de escala. En este estudio, esta función se nombrará como **RQ**.

2.3.3 Función de covarianza periódica

Otra función de covarianza muy común es la periódica (C. Rasmussen & C. Williams, 2006), la cual está definida en (7).

$$k(x, x') = \sigma^2 \exp\left(-\frac{\text{sen}^2(\pi(x - x')/\rho)}{2\lambda^2}\right) \quad (7)$$

Este kernel periódico ofrece una estructura repetitiva sobre la función, la cual es controlada por el parámetro del periodo ρ . Un valor de ρ grande ocasiona oscilaciones bajas, mientras que un valor de ρ pequeño conlleva a oscilaciones altas (Bagas Abisena & Swastanto, 2016). La longitud de escala λ^2 y la varianza σ^2 tienen el mismo efecto que se mencionó para el kernel **SE**. De igual forma, esta función base se denotará como **PER**.

2.4 Composición de funciones de covarianza

Según Rasmussen y Williams en (C. Rasmussen & C. Williams, 2006), es posible proponer o desarrollar nuevas funciones de covarianza a través de la adición o multiplicación de funciones de covarianza base como se muestra en (8) y (9). Es decir, se puede tener:

$$k(x, x') = k_1(x, x') + k_2(x, x') \quad (8)$$

O también,

$$k(x, x') = k_1(x, x') \cdot k_2(x, x') \quad (9)$$

Es primordial que la nueva función de covarianza resultante sea semi-definida positiva. La idea al realizar una composición de una función de covarianza es que cada función base sea responsable de modelar una cierta estructura o patrón en las series de tiempo de acuerdo con sus características (Bagas Abisena & Swastanto, 2016). A partir de lo anterior y para llevar a cabo el pronóstico de la demanda de energía eléctrica, se propone una nueva función de covarianza la cual está dada por (10),

$$k(x, x') = \sigma^2 \exp\left(\frac{x - x'}{2\lambda^2}\right) +$$

$$k(x, x') = \sigma^2 \exp\left(-\frac{\text{Sen}^2(\pi(x-x')/\rho)}{2\lambda^2}\right) \quad (10)$$

Esta iniciativa surge del análisis de los patrones de periodicidad que se presentan en las curvas de demanda de energía. Se decide emplear el operador de adición pues según (Pasan Karunaratne, s.f.), cuando se emplea este operador cada función involucrada trabaja de manera independiente con sus propias características. Por otro lado, en la literatura se han analizado diversas composiciones de funciones de covarianza (Van Der Meer D. et al., 2018), pero no se ha tenido en cuenta la composición anteriormente expuesta. Esta composición de funciones de covarianza se denotará como **SE+PER** y se expresa en (10).

2.5 Hiperparámetros

Además de ser una componente clave dentro de los GPs, la función de covarianza depende de varios parámetros (varianzas, periodos y escalas) que codifican los patrones de las observaciones que se están analizando (C. Rasmussen & C. Williams, 2006), (K. Chalupka, 2011). Estos parámetros

deben ser estimados de manera óptima para garantizar un correcto modelado de la demanda de energía. Cuando se usan los procesos Gaussianos para regresión o para clasificación, los hiperparámetros se obtienen mediante aprendizaje de los datos de entrenamiento. Existen diferentes técnicas para la estimación de estos valores. Una de ellas es el estimador de probabilidad máxima o máxima verosimilitud conocida como MLE (Maximum Likelihood Estimation), el cual fue empleado en este estudio para el cálculo de los hiperparámetros.

2.6 Implementación

Con el fin de realizar un pronóstico en un horizonte corto, es decir, de 24 horas para los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes, se toman como datos de entrenamiento los cuatro días similares inmediatamente anteriores al día que se desea predecir. Por ejemplo, para predecir el primer miércoles del mes de febrero, se toma como datos de entrenamiento los cuatro miércoles del mes anterior. Se avanza un día hacia adelante y se repite el proceso. En total se toman 48 días de los cuales 34 son para entrenamiento y 14 para prueba. La matriz de los datos de entrenamiento $D = (X, y)$ para la predicción horaria queda definida así:

$$X = \begin{bmatrix} D_1 & D_2 & D_3 & D_4 \\ D_2 & D_3 & D_4 & D_5 \\ D_3 & D_4 & D_5 & D_6 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{n-3} & D_{n-2} & D_{n-1} & D_n \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ \vdots \\ D_{n+1} \end{bmatrix}$$

donde n es la dimensión de los datos de entrenamiento, lo cual para un horizonte horario $n = 816$ que equivale a observaciones de 24 horas por 34 días. Para el conjunto de datos de prueba $D_* = (X_*, y_*)$, se tiene:

$$X_* = \begin{bmatrix} D_{1*} & D_{2*} & D_{3*} & D_{4*} \\ D_{2*} & D_{3*} & D_{4*} & D_{5*} \\ D_{3*} & D_{4*} & D_{5*} & D_{6*} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{*m-3} & D_{*m-2} & D_{*m-1} & D_{*m} \end{bmatrix}$$

$$y_* = \begin{bmatrix} D_{5*} \\ D_{6*} \\ D_{7*} \\ \vdots \\ D_{*m+1} \end{bmatrix}$$

donde $m = 336$ equivale a 24 horas por 14 días. Para realizar el pronóstico diario (por semana) se sigue un proceso similar al realizado en la predicción horaria. Es decir, se inicia con cuatro semanas de entrada y la siguiente como objetivo a predecir. Luego, se avanza una semana y se repite el proceso. Para este horizonte se toman 47 semanas en total, de las cuales 38 son para entrenamiento y 9 para prueba.

2.7 Métodos alternativos para la predicción

Con el fin de llevar a cabo el análisis comparativo, se emplearon otros métodos de predicción. Específicamente se usaron máquinas de vectores de soporte para regresión (SVR) (Bing Donga et al., 2015), modelos ARIMA (Zhang J. et al., 2018), redes neuronales artificiales (NN) (Bing Donga et al., 2015) y redes neuronales profundas (DNN) (G. Din & A. Marnerides, 2017). Las SVR son ampliamente usadas en el pronóstico de la demanda de energía (Bing Donga et al., 2015) y se basan en la construcción de un hiperplano óptimo en forma de superficie de decisión. Los vectores de soporte hacen referencia a un pequeño subconjunto de las observaciones de entrenamiento que se utilizan como soporte para la ubicación óptima de la superficie de decisión (Kevin P., 2012). Por otro lado, los

modelos ARIMA son métodos que se basan en la comción lineabinal de datos y errores pasados (Zhang J. et al., 2018), (Tarsitano A. & Amerise I., 2017). Por último, las NN y DNN son arreglos de unidades o nodos (neuronas) que se interconectan entre sí para predecir un nuevo dato de demanda de energía (G. Din & A. Marnerides, 2017).

2.8 Métricas de rendimiento

El desempeño de los modelos implementados en este trabajo es medido mediante el cálculo de dos métricas de error asociados a los resultados obtenidos. Estas dos medidas son: el error cuadrático medio estandarizado (SMSE) (K. Chalupka, 2011), el cual está dado por (11).

$$SMSE = \frac{1}{\sigma_{test}^2 + \mu_{test}^2} \left(y_{*i} - \bar{f}(x_{*i}) \right)^2 \quad (11)$$

donde x_{*i} y y_{*i} son los valores de un dato de entrada y salida del conjunto de datos de prueba, σ_{test}^2 y μ_{test}^2 son la varianza y la media del conjunto de datos de prueba respectivamente.

La otra métrica de rendimiento es la pérdida logarítmica estandarizada de la media (MSLL) (K. Chalupka, 2011), la cual está expresada en (12).

$$MSLL = \frac{1}{2} \log(\sigma_{*i}^2) + \frac{(y_{*i} - \bar{f}(x_{*i}))^2}{\sigma_{*i}^2} - \frac{(\sigma_{test}^2 + \mu_{test}^2)}{2} \quad (12)$$

donde $\bar{f}(x_{*i})$ y σ_{*i}^2 son la media y varianza predictiva en el punto de prueba x_{*i} , respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección tiene como objeto mostrar un análisis comparativo entre las técnicas que se han usado para la predicción en un horizonte

corto de la demanda de energía frente a los procesos Gaussianos. Inicialmente se probaron las técnicas anteriormente descritas usando datos de demanda de energía en Colombia. Posteriormente se emplea el GP para realizar la predicción de demanda de energía usando datos proporcionados por un operador del sistema de transmisión en Bélgica.

3.1 Predicción horaria en Colombia

Teniendo en cuenta lo anterior se presentan los resultados de las estimaciones por horas de lunes a viernes del año 2015 empleando la función de covarianza (kernel) SE+PER usando datos extraídos de la plataforma de XM. Con el fin de resaltar el desempeño del modelo, se decide mostrar los días hábiles de la semana como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la predicción horaria. Fuente: Autores

Día	SMSE	MSLL
Lunes	0.0008 ± 0.00040	-3.2506 ± 0.1631
Martes	0.0003 ± 0.00011	-3.3259 ± 0.0928
Miércoles	0.0002 ± 0.00018	-3.3132 ± 0.0947
Jueves	0.0002 ± 0.00017	-3.3517 ± 0.0764
Viernes	0.0004 ± 0.00008	-3.3204 ± 0.0663

La anterior tabla muestra que el método propuesto presenta un menor SMSE y un alto MSLL los días lunes. Esto se debe a la presencia de días festivos los cuales se manifiestan más en los días en cuestión. Estos días feriados presentan un comportamiento irregular respecto a aquellos días normales hábiles, y son una razón para obtener unas pobres estimaciones. En contraste, los días miércoles y jueves son los que

presentan mejores índices de error. Este buen comportamiento puede ser explicado por la nula o poca presencia de días festivos en estos días. El experimento se repite con algunas funciones de covarianza para constatar el desempeño de la función compuesta. Dichas funciones base son: SE, PER y RQ. La tabla II muestra los SMSE y MSLL usando estas funciones de covarianza base. Los resultados con la función base SE son un poco mejores o iguales a los obtenidos con la función compuesta. Esto nos indica que la función PER en la composición no está realizando un trabajo significativo. Es posible, entonces, que el comportamiento periódico de los datos de entrenamiento presente un patrón cíclico que la función PER no puede manejar adecuadamente, razón por la cual dicha función arroja pobres estimaciones como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de predicciones horarias por días usando diferentes funciones base. Fuente: Autores

Día	SE	PER	RQ
Lunes	0.00082 ± 0.00027	0.02218 ± 0.0014	0.00070 ± 0.00018
Martes	0.00028 ± 8.3e-05	0.02106 ± 0.0023	0.00028 ± 8.3e-05
Miércoles	0.00020 ± 0.00018	0.01648 ± 0.0016	0.00022 ± 4.4E-05
Jueves	0.00024 ± 0.00016	0.01740 ± 0.0010	0.00036 ± 0.00015
Viernes	0.00028 ± 0.00010	0.01930 ± 0.0023	0.00042 ± 8.3e-05

A partir de los datos reportados en la tabla 1 se decidió presentar gráficamente la predicción de la demanda para el día jueves 29 de octubre de 2015. Como se mencionó anteriormente, las buenas estimaciones para este día hábil, pueden ser explicadas por el comportamiento regular del consumo de energía que se presenta normalmente en los días de este tipo.

Cabe resaltar que para el entrenamiento de los días jueves, se excluyó las observaciones del día primero de enero, pues este es un día que presenta demasiada irregularidad en el consumo de energía por tratarse del primer día del año. La Fig. 1 nos ofrece una perspectiva gráfica de la predicción para el día mencionado con la variabilidad de las estimaciones representada en gris.

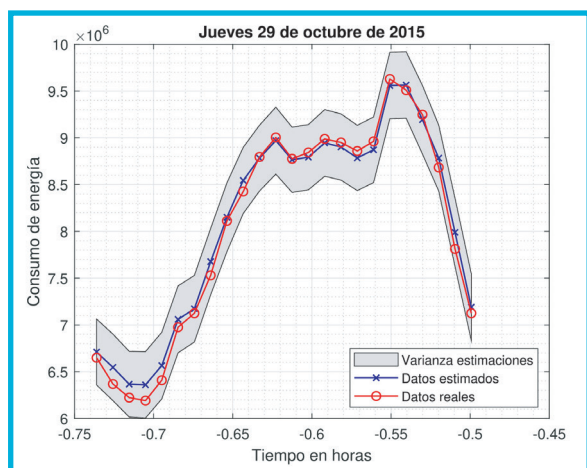


Fig. 1. Predicción para el jueves 29 de octubre de 2015. Fuente: Autores

3.2 Predicción diaria en Colombia

Una vez presentado el comportamiento del método propuesto para un horizonte horario, se procede a observar el rendimiento de este ante diferentes estimaciones diarias (por semana) para el año 2015 usando la función de covarianza propuesta. La Fig. 2 permite apreciar gráficamente la estimación para la semana 44 del año 2015, la cual va desde el 26 de octubre hasta el 1 de noviembre, y cuyo SMSE fue de 0,0001.

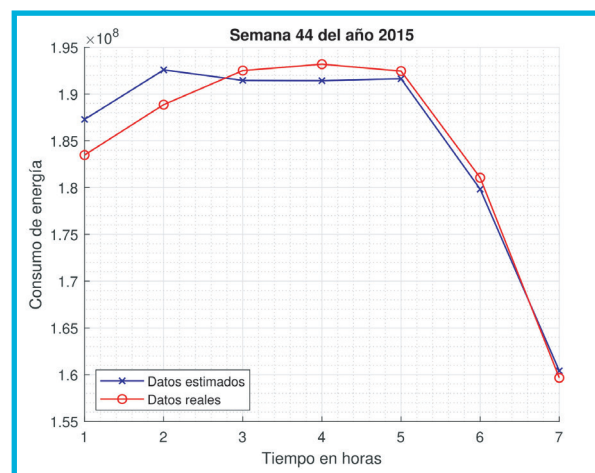


Fig. 2. Estimación de la semana 44 del año 2015. Fuente: Autores

Con el fin de contrastar la función de covarianza compuesta, el experimento se repite usando las funciones base SE y RQ. Los resultados SMSE para la semana 44 del año 2015 con estas funciones base son 0,0002 y 0,0002 respectivamente. La Fig. 3 y 4 permiten visualizar el resultado para SE y RQ, respectivamente. No se muestran gráficamente los resultados usando la función de covarianza PER dado que presente estimaciones pobres en este horizonte de predicción.

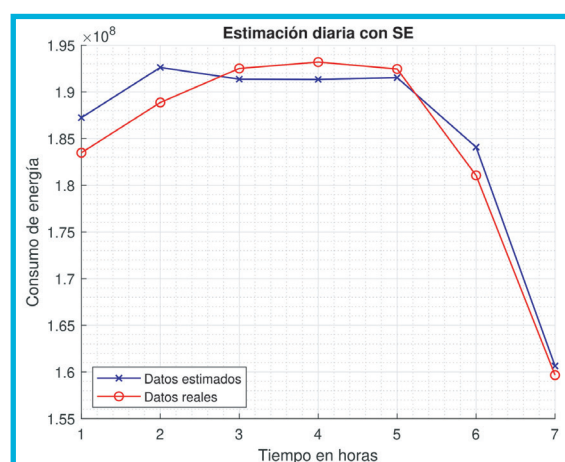


Fig. 3. Estimación diaria (por semana) con la función de covarianza base SE. Fuente: Autores

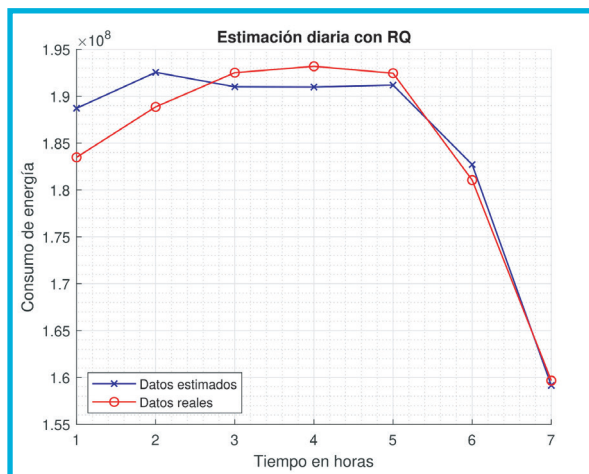


Fig. 4. Estimación diaria (por semana) con la función de covarianza base RQ. Fuente: Autores

De lo anterior, se decide repetir el experimento para los años 2013 y 2014 usando la función de covarianza propuesta. En la tabla 3 se presenta las métricas de rendimiento para estos años. Dicha tabla informa que la tendencia del rendimiento se mantiene estable, lo que indica que el modelo se comporta de manera similar ante diferentes periodos de tiempo.

Tabla 3: Resultados de la predicción diaria usando SE+PER entre los años 2013 y 2015

Año	SMSE	MSLL
2015	0.002372±0.002634	-1.6883 ± 8.8903
2014	0.002946±0.003662	-1.6206 ± 1.0773
2013	0.002761±0.002992	-1.4923 ± 8.2823

3.3 Comparación usando métodos alternativos de la literatura

Esta sección presenta los resultados obtenidos al comparar el GP con otros métodos de predicción como se mencionaron anteriormente. Específicamente, se usó las máquinas de vectores soporte para

regresión (SVR) con una cantidad de vectores de soporte en el entrenamiento de 86 y un kernel Gaussiano. También se usó un modelo ARIMA con $p = 26$, $d = 1$, $q = 1$ y sus parámetros fueron estimados por máxima verosimilitud. Para la NN se usó una red con 10 neuronas en la capa oculta. Finalmente, se implementó una DNN con tres capas ocultas con 48, 20 y 50 neuronas por capa, respectivamente. Todas estas metodologías fueron implementadas en Matlab. La Fig. 5 muestra el comportamiento de cada uno de los métodos para predecir la demanda para el caso horario. Se puede notar que todas las metodologías siguen el patrón de la demanda de energía.

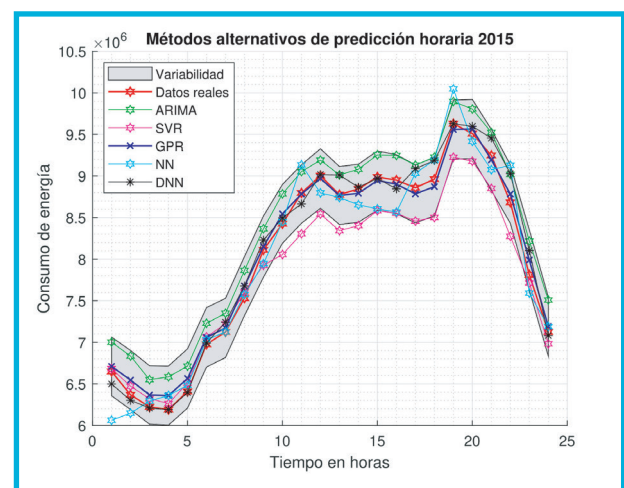


Fig. 5. Métodos alternativos predicción horaria vs GP. Fuente: Autores

Tabla 4: Métricas de rendimiento usando métodos alternativos para un horizonte horario.

	SMSE	MSLL
ARIMA	0.0065 ± 0.0025	-2.7340 ± 0.2177
SVR	0.0124 ± 0.0032	-2.1247 ± 0.5760
GP	0.0003 ± 0.0002	-2.9908 ± 0.2730
NN	0.0042 ± 0.0027	-2.2816 ± 0.3526
DNN	0.0017 ± 0.0011	-3.2816 ± 0.4098

De la Fig. 5 se observa que las SVR no logra obtener predicciones acertadas en horas de mayor demanda. Similarmente pasa con los modelos ARIMA. Por un lado, se nota que las NN entrega predicciones cercanas a los datos reales de la demanda de energía. Por otro lado, se puede notar que las DNN y el enfoque propuesto obtiene predicciones similares a los datos de la demanda. En la tabla 4 están consignados los valores de SMSE y MSLL para cada una de las técnicas. De esta tabla, se puede apreciar que las SVR y los modelos ARIMA obtienen los menores índices de rendimiento. Los enfoques de las NN, DNN y los GP presentan índices de error comparables, donde los dos últimos métodos son los que presentan los mejores registros para el SMSE y MSLL. De lo anterior cabe mencionar que sin duda las redes neuronales son elementos valiosos para realizar tareas de predicción en series temporales. Sin embargo, también se debe señalar que los GPs al basarse en modelos probabilísticos (distribuciones de probabilidad) entregan una región o intervalo de confianza en sus predicciones. Esta característica sería un valor agregado para la técnica propuesta en aplicaciones como la operación de los mercados de energía en sistemas de potencia. Otra ventaja de los GPs frente a los otros métodos de predicción es que al usar un enfoque probabilístico se puede incorporar información extra o particular en el modelo probabilístico (R. Adams, G. Dahl, & I. Murray, 2010).

3.4 Predicción de demanda usando datos alternos

Luego de mostrar las predicciones horarias y diarias con datos de demanda de energía de Colombia, se procede a verificar el comportamiento del GP usando datos de

demanda de energía proporcionada por un operador del sistema de transmisión en Bélgica (ver [?]). Sólo se presentarán las predicciones con la función de covarianza compuesta SE+PER. Estas predicciones pueden observarse en las Fig. 6 y 7, en horizontes horarios y semanales, respectivamente.

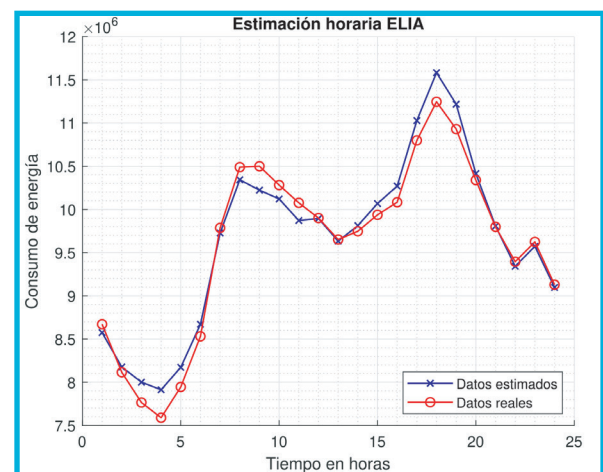


Fig. 6. Estimaciones para el día jueves de 2015 con la función SE+PER. Fuente: Autores

En la Fig. 6 se muestra el comportamiento del método propuesto en un horizonte horario y cuyo SMSE es de 0,0003. De manera general los SMSE y MSLL son $0,008375 \pm 0,01114$ y $-4,4304 \pm 6,3446$, respectivamente. Por otro lado, la Fig.7 permite apreciar el resultado de las estimaciones siguiendo la misma metodología para el horizonte semanal. La mejor estimación se presenta para la semana número 2 de los datos de prueba y presenta un error SMSE de 0,0002. Los resultados de manera general son $0,005496 \pm 0,007369$ para SMSE y $-2,4186 \pm 0,2611$ para MSLL.

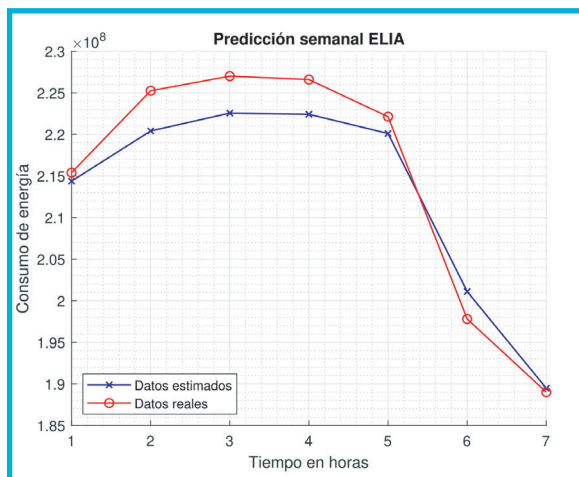


Fig. 7. Estimación semanal de los datos alternos. Fuente: Autores.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta propuesta de investigación permiten determinar que los GP con la función de covarianza propuesta, son otra posible herramienta para la predicción de la demanda de energía eléctrica en horizontes cortos. El buen desempeño se debe a que son flexibles y tienen en cuenta la variabilidad del comportamiento de la demanda de energía. Debido a que sus parámetros (hyperparámetros) son optimizados usando estimación por máxima verosimilitud, posee una ventaja importante frente al aprendizaje basado en redes neuronales. Por otro lado, el éxito de un proceso Gaussiano radica en la adecuada selección de la función de covarianza, pues esta debe ir acorde al comportamiento que presenten los datos considerando las características propias de cada una de ellas.

Como trabajos futuros, sería interesante analizar más composiciones de funciones de covarianza, proponer modelos es-

calables con procesos Gaussianos debido a su régimen específico de cantidad de datos y analizar el comportamiento de las predicciones usando GP multitareas.

Referencias

- Bagas Abisena, Swastanto. (2016). "Gaussian Process Regression for Long-Term Time Series Forecasting". Delft University of Technology.
- Bing Donga, Zhao Xuan Lia, S.M. Mahbobur Rahmana, Rolando Vega. (2015). A hybrid model approach for forecasting future residential electricity consumption. 17 June 2015. Energy and Buildings 117 (2016) 341–351.
- C. E. Rasmussen and C. Williams (2006). Gaussian Processes for Machine Learning. The MIT Press, 2006.
- Chen Y., Xu P., Chu Y., Li W., Ni L. (2017). Short-term electrical load forecasting using the support vector regression. ScienceDirect, 195, Pages 659-670. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.034>
- De Oliveira E., Oliveira F. (2018). Forecasting mid-long-term electricity energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. ScienceDirect, 144, Pages 776-788. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.049>
- Duan Q., Liu J., Zhao D. (2017). Shortterm electric load forecasting using an automated system of model choice. ScienceDirect, 91, Pages 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.03.006>
- Dudek G. (2016). Pattern based local linear regression models for short term load forecasting. ScienceDirect, 130, Pages 139147. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2015.09.001>
- E. Group (Junio de 2020). Transparency on grid data, <https://www.elia.be/en/grid-data>
- Fan G., Peng L., Hong W., (2018). Short term load forecasting based on phase space reconstruction algorithm and bisquare kernel regression model. ScienceDirect, 224,13-33. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.075>
- Fan G., Peng L., Hong W., Sun F. (2016). Electric load forecasting by the SVR model with differential empirical mode decomposition and auto regression. ScienceDirect, 173, Pages 958-970. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.08.051>
- G. M. U. Din and A. K. Marnerides. (2017). "Short term power load forecasting using Deep Neural Networks," 2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), Santa Clara, CA, 2017, pp. 594-598.
- G. Sideratos, A. Ikonopoulou, and N. D. Hatziargyriou. (2020). "A novel fuzzy-based ensemble model for load forecasting using hybrid deep neural networks," Electric Power Systems Research, vol. 178, p. 106025, 2020. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877961930344X>
- Geng J. Huang M., Li M., Hong W. (2015). Hybridization of seasonal chaotic cloud simulated annealing algorithm in a SVR based load forecasting model. ScienceDirect, 151, Pages 1362-1373. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.10.055>
- I. N. da Silva and L. C. M. de Andrade (2016). "Efficient neurofuzzy model to very short-term load forecasting," IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no.

- 2, pp. 721–728, 2016.
- Jimenez J., Donado K., and Quintero C. (2017). “A methodology for shortterm load forecasting,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no. 3, pp.400–407, 2017.
- K. Chalupka. (2011). “Empirical evaluation of gaussian process approximation algorithms,” Ph.D.
- Kevin P. Murphy. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. Adaptive computation and machine learning series. MIT Press, Cambridge, MA, 2012. ISBN 978-0-262-01802-9.
- Lauret P., David M., Calogine D. (2012). Nonlinear models for short-time load forecasting. *ScienceDirect*, 14, Pages 1404-1409. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1109>
- Pasan Karunaratne, Masud Moshtaghi, Shanika Karunasekera, Aaron Harwood, Trevor. (s.f.) Q. Huang, J. Li, and M. Zhu. (2020). “An improved convolutional neural network with load range discretization for probabilistic load forecasting,” *Energy*, vol. 203, p. 117902, 2020. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220310094>
- R. P. Adams, G. E. Dahl, and I. Murray. (2010) “Incorporating side information in probabilistic matrix factorization with gaussian processes,” in *Proceedings of the Twenty-Sixth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, ser. UAI10. Arlington, Virginia, USA: AUAI Press, 2010, p. 1–9.
- Residential probabilistic load forecasting: A method using Gaussian process designed for electric load data. *Applied Energy*, 218, 159172.
- Sheng H., Xiao J. Cheng Y., Ni Q., Wang S. (2017). Short-term solar power forecasting based on weighted Gaussian process regression. *IEEE Xplore*, 65, pages 300-308. 10.1109/TIE.2017.2714127
- Shepero, M., van der Meer, D., Munkhammar, J., & Widén, J. (2018).
- Singh P. Dwivedi P. (2018). Integration of new evolutionary approach with artificial neural network for solving short term load forecast problem. *ScienceDirect*, 217, Pages 537-549. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.131>
- Takeda H., Tamura Y., Sato S. (2016). Using the ensemble Kalman filter for electricity load forecasting and analysis. *ScienceDirect*, 104, Pages 184-198. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.070>
- Tarsitano A., Amerise I. (2017). Short term load forecasting using a twostage sarimax model. *ScienceDirect*, 133, Pages 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.126>
- Van Der Meer D., Shepero M., Svensson A., Widén J., Munkhammar J. (2018). Probabilistic forecasting of electricity consumption, photovoltaic power generation and net demand of an individual building using Gaussian Process. *ScienceDirect*, 213, 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.104>
- W. Kong, Z. Y. Dong, Y. Jia, D. J. Hill, Y. Xu, and Y. Zhang. (2019). “Short-term residential load forecasting based on lstm recurrent neural network,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 1, pp. 841–851, 2019.

- Wilson, A., & Adams, R. (2013, February). Gaussian process kernels for pattern discovery and extrapolation. In International Conference on Machine Learning (pp. 10671075).
- X. Cao, S. Dong, Z. Wu, and Y. Jing. (2015). "A data-driven hybrid optimization model for short-term residential load forecasting," in 2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing, 2015, pp. 283–287
- XM. (junio de 2020). Curva de demanda promedio en Colombia, <https://www.xm.com.co/Paginas/Consumo/historico-de-demanda.aspx>
- Z.-Y. Dou, X. Wang, S. Shi, and Z. Tu. (2020). "Exploiting deep representations for natural language processing," Neurocomputing, vol. 386, pp. 1 – 7, 2020. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231219317692>
- Zamo M. Mestre O., Arbogast P., Pannekouke O. (2014). A benchmark of statistical regression methods for short-term forecasting of photovoltaic electricity production. ScienceDirect, 105, Pages 792-803. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.12.006>
- Zhang J., Wei Y., Li D., Tan Z., Zhou J. (2018). Short term electricity load forecasting using a hybrid model. ScienceDirect, 158, Pages 774781. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.012>



IMPACTO DE LOS KPIS EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA INDUSTRIA

impact of kpis on processes productive industry

Zion S.A.S.

RESUMEN

Los KPI (Key Performance Indicators) tienen gran importancia para el mejoramiento continuo de los procesos productivos que se llevan a cabo en las industrias, al servir como métrica para describir diferentes patrones de comportamientos dentro de las mismas. Es importante resaltar que este estudio de los KPI 'S en la gestión de los procesos productivos demuestran un impacto de manera positiva en cualquier fábrica que aplique continuamente el proceso. Es así como este estudio evidencia los múltiples casos de éxito y la importancia de cómo las MiPymes deberían incluir estas métricas para agregar valor a sus procesos productivos y poder disminuir la brecha que existe entre ellas y las grandes industrias.

- Ing. Luis Chávez Salazar
luisgabriel21@gmail.com
- Ing. Daniel Lozano Mosquera
danielf.lozano@gmail.com
- Ing. Diego Mejía Melo,
diegohernanmejia@gmail.com
- Ing. Lloyd Morris Molina
lloyd.morris@ucp.edu.com
- Ing. Justin Ospina López
justinospina10@gmail.com

AUTORES

Palabras clave: KPI'S, OEE, Industria 4.0, MiPymes, Indicadores, productivos, gestión.

ABSTRACT

The KPI (Key Performance Indicators) have great importance for the continuous improvement of the productive processes that are carried out within industries, working as a metric to describe different patterns of behavior in them. It is important to highlight that this study of the KPI'S in the management of productive processes shows a positive impact in any factory that applies continuously to the process. Thus, this paper evidences the diverse successful stories and the importance of how the MiPymes should include these metrics to add value to their productive processes and decrease the existing gap between them and the big industries.

Keywords: KPI'S, OEE, industry4.0, MiPymes, Indicators, productive, management.

de interés a estudiar, los KPI'S indicadores claves de desempeño para gestión de los procesos productivos. De por sí, suministrar información relevante para posteriormente tomar decisiones ágiles, flexibles y oportunas siempre a favor del ciclo de vida de una producción.

Buitrago (2016), Varela (2018) y Clive (2018), coinciden que los KPI'S son una serie de métricas que miden la eficiencia de un proceso y el consumo de un recurso que se destina para una producción, representando una métrica que evalúa el rendimiento de un recurso de producción. Por concerniente es importante entender cómo se construye un KPI y que características se deben tener en cuenta en el momento de formular uno. Las principales características para tener en cuenta se describen en la tabla 1:

Tabla 1

Características de los KPI'S

CARACTERÍSTICAS DE UN KPI		
#	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
1	Alcanzable	Los objetivos planteados deben ser realistas.
2	Medible	De manera cuantitativa o cualitativa.
3	Relevante	Selección de la información más útil y representativa del indicador.
4	Periodicidad	El indicador debe tener frecuencia de evaluación y retroalimentación periódica.
5	Exacto	Se elige solo la parte más precisa de toda la información recabada.

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo de revisión se enfoca en el estudio teórico y existente sobre los KPI'S (Key Performance Indicators), como indicadores claves de desempeño en los procesos productivos de las industrias de manufactura. Y para efectos de este estudio se analiza la cuarta revolución industrial o industria 4.0, no solo es la más tecnológica sino también, ofrece un abanico de soluciones, herramientas e indicadores, siendo esta última el área

Nota. Adaptado de: <https://n9.cl/3jg0i>

Como menciona Beltrán (2006, p. 8) los principales efectos adversos ocasionados por la problemática de gestión del proceso productivo de las MiPymes, se encuentran los sobre costos de producción a raíz del

desperdicio de materia prima e insumos y las elevadas cargas de horas extras de personal; así como la baja cuota de competitividad y participación en los mercados nacionales y las limitadas posibilidades de exportación a causa de los incumplimientos e irregularidades en los tiempos de entrega.

No obstante, se evidencian causas reiteradas que agudizan e incrementan problemas de productividad como las siguientes: Las MiPymes no cuentan con información real de sus capacidades de producción, no hay información que permita identificar las causas del incumplimiento de los programas de producción y no existe información suficiente, estructurada y estandarizada que permita una oportuna gestión y toma de decisiones respecto al proceso productivo.

El Programa de Transformación Productiva (PTP) del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, hoy consolidado como Colombia Productiva, (2018, 4 Julio) ratifica la definición de transformación productiva para una empresa en diversas fuentes que de acuerdo al informe: Dinámicas de producción y comercio exterior de pymes manufactureras realizado por el Equipo de Competitividad y Desarrollo Productivo de dicho programa (2018) la gran mayoría de la MiPymes de manufactura generan pérdidas importantes relacionadas con el tiempo de producción a causa de la falta de planeación de sus procesos, lo que se evidencia en la NO medición sistemática de sus Factores Claves de Productividad - KPI, donde 8 de cada 10 pymes NO implementan medidas de eficiencia.

Esta cifra es abrumadora afecta directamente

el desarrollo sólido de las MiPymes, y más aún cuando representan el 92 % de la microeconomía de un país como Colombia entre MiPymes formales e informales Ríos & Bedoya (2009), otro factor significativo es la baja competitividad en el mercado. Como parte de una solución alternativa a esa situación problemática a lo largo del documento se revelan diferentes casos de éxitos de compañías que implementan KPI'S. Esta solución podría ser adoptada por las MiPymes para reducir las brechas existentes con las grandes industrias.

2. KPI'S en la medición de los procesos productivos

En línea con lo anterior, el Programa de Transformación Productiva (PTP) del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, hoy consolidado como Colombia Productiva, en la publicación en su portal web: "Diez errores comunes en las MiPymes que las hacen menos productivas" (2018, 4 Julio) define que: "Una empresa es considerada productiva cuando tiene procesos eficientes, con costos reducidos, controlados, con indicadores y con tiempos definidos para cada actividad, que le permiten tener mejores tiempos de respuesta." autores como Rodríguez (2007) y Maldonado (2010) coinciden que una empresa es competitiva cuanto existe competitividad e innovación de las industrias, además para llegar a la transformación productiva Cardona (2012), indica que se requiere industrialización de las fábricas y un modelo ágil y flexible.

De acuerdo con Hernández y Vizán (2013, p. 7) para lograr altos niveles de optimización y mitigación de estos errores comunes de

productividad, se hace necesario implementar metodología como Lean Manufacturing que es más conocida como, la filosofía esbelta o ágil, su objetivo principal es reducir todo tipo de desperdicios en campos de producción, esta propuesta fue lanzada por Sr Sakichi Toyoda. Quien de manera directa utilizó altos niveles de optimización en cuanto a técnicas, metodologías y organización en el trabajo en la empresa Japonesa Toyota, obteniendo así factores diferenciales de valor como simplicidad en las tareas, buen desempeño en la fabricación e interacción entre máquina y operario. Por otra parte, existe el Mantenimiento Productivo Total (TPM) donde en 1982 fue conocida y desarrollada por primera vez por el Sr Seiichi Nakajima basándose en la ideología Harrington Emerson sobre la eficiencia del trabajo. El señor Seiichi Nakajima (2006, p. 23) incluyó una lógica matemática como se observa en la figura 1. Para medir los resultados productivos de una industria.

Como parte del TPM, existe la eficiencia general de los equipos (OEE: Overall Equipment Effectiveness), el cual es un indicador de rendimiento ampliamente usado por las empresas de manufactura alrededor del mundo, que además de su vigencia actual, se ha potencializado con las nuevas tecnologías de la información. El OEE es especialmente útil en empresas con procesos productivos automáticos o semiautomáticos y engloba en un único indicador todos los parámetros fundamentales de la producción industrial: la disponibilidad, el rendimiento de la maquinaria y la calidad, (Phillipus 2011), y que, para efectos de cálculo, se

tienen las siguientes ecuaciones mostradas en la figura 1.

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad} &= \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Tiempo Productivo}} \\ \text{Rendimiento} &= \frac{\text{Capacidad Productiva}}{\text{Producción Real}} \\ \text{Calidad} &= \frac{\text{Producción Real}}{\text{Piezas Buenas}} \\ \text{OEE} &= \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \end{aligned}$$

Figura 1. Ecuación Matemática OEE. Nota. Adaptado de Eficiencia General de los Equipos [Imagen], por Peter Belohlavek, 2006. Recuperado de: <https://n9.cl/uvcm>

Por otra parte, Nakajima (1988) definió la filosofía de trabajo TPM y en el mismo precisó las seis mayores pérdidas de un proceso de manufactura, divididas en tres categorías del indicador OEE como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Mayores pérdidas del OEE (Overall Equipment Effectiveness o Efectividad)

MAYORES PÉRDIDAS DEL OEE		
#	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
1	Pérdidas de tiempo muerto o inactividad (Indicar de Disponibilidad)	• Fallas de quipos.
		• Puesta a punto y ajustes.
2	Pérdidas de velocidad (Indicador de Eficiencia)	• Ocioso, paros menores.
		• Tiempos de velocidad.
3	Pérdidas de calidad (Indicador de Calidad)	• Defectos en el proceso.
		• Reducción de rendimiento

Nota. Fuente: Revista de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Recuperado de: <http://www.usat.edu.pe/files/revista/flumen/2014-II/articulo1.pdf>

Como indican Elevlii & Elevli (2010, p. 1), los OEE son métricas de mejores prácticas que pueden identificar el porcentaje de tiempo de producción planificado realmente productivo, al realizar mediciones para obtener la efectividad de los equipos y que, mediante la comparación con los estándares internacionales de producción, conlleva a la eliminación de las seis mayores pérdidas, mencionadas en la tabla previa. Con respecto a la adaptabilidad del OEE han surgido algunas variantes que son más específicas respecto a lo que se quiere medir, Muñoz y Otros (2018), listan algunas de estas variaciones:

- OFE: Overall Factory Effectiveness: Se enfoca en relaciones entre diferentes máquinas y procesos.
- OAE: Overall Asset Effectiveness: Se enfoca en las pérdidas que no están relacionadas con la operación.
- OGP: Overall Greenness Performance: Métricas de impacto ambiental contra el valor agregado generado.
- OLE: Overall Labor Effectiveness (Efectividad laboral general): Específico para el recurso humano.
- OEE: Overall Equipment Effectiveness: (Efectividad General de los Equipos) Medición de Disponibilidad, Rendimiento y calidad en una fábrica.

Del listado anterior se destaca el OEE, el cual es especialmente útil en industrias en donde el uso del recurso humano es muy alto o realiza trabajos de alto riesgo, y cobra relevancia en las MiPymes, las cuales

dependen en gran medida de procesos manuales en sus líneas de producción. Como ejemplo de aplicación práctica, Butlewski et al (2018, p. 6), adaptan el TPM con el OLE para gestionar la fatiga de los trabajadores en la industria minera en Polonia.

Por último, desde la perspectiva operativa en las empresas de clase mundial, Nakajima (1988), fijó el estándar del OEE en un valor mayor al 85%, para establecer un punto de cumplimiento, lo que requiere de estrategias a largo plazo, con mediciones y análisis detallados de las variables que definen el OEE.

3. Casos de Éxito de los KPI'S en los procesos productivos

La revisión de la literatura permite comprobar el éxito de la aplicación del OEE en las diferentes industrias, potencializado con conceptos como Internet de las Cosas IoT y la Analítica de Datos. Por citar unos ejemplos, en OEE, Kamolchanok Krachangchan et al (2018, p. 1), aplican técnicas TPM y de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para reducir las pérdidas de tiempo y aumentar el indicador OEE. Otra particularidad es la de Yi-Hsin Wu et al (2017, p. 1), quienes aplican el IOT para la captura y envío de información en tiempo real del proceso productivo de una fábrica de semiconductores en Taiwán y por medio de técnicas de Big Data procesan la información para finalmente mejorar el indicador OEE. Por otro lado, Yu-Ting Kao et al (2016), van un poco más allá de la implementación tradicional, y plantean un OEE predictivo (POEE: Predictive Overall Equipment Effectiveness), en el cual se predicen las

posibles afectaciones del indicador OEE a partir de un funcionamiento anormal de la maquinaria o una detección de problemas de calidad en la producción.

Entonces, el indicador OEE ha sido adaptado por grandes empresas de manufactura a nivel mundial y existen fabricantes especializados en desarrollar soluciones para la implementación de este indicador. Por nombrar algunos casos, se tiene el de la canadiense Shoplogix que se destaca como líder del mercado y cuenta con soluciones especializadas para la industria automotriz, embotellado, embalaje comercial e industrial, alimentos y bebidas y servicios de acero. Adicionalmente, la alemana Forcam cuenta con un producto para la optimización de la producción por medio de la medición del indicador OEE y dan una promesa de aumento de la productividad en al menos un 10%.

Por otra parte, De Felice y Petrillo (2015) afirman que las políticas selectivas e inteligentemente diseñadas pueden ser efectivas en el desarrollo de WCM (World ClassManufacture) o clase mundial de manufactura, implementando los siguientes componentes: 1) Crear un flujo de trabajo reduciendo inventarios, 2) Sincronizar la producción y las ventas para aumentar la satisfacción del cliente, 3) Minimizar la manipulación del material.

Este estudio anteriormente mencionado por De Felice y Petrillo (2015), fue implementado

en una empresa automotriz en Italia, Nápoles. Principalmente, dio gran atención a la recolección de datos y a la definición de indicadores apropiados KAI (Key Activity Indicators) o indicadores claves de actividad y a los KPI o indicadores claves de desempeño, para reducir los volúmenes de trabajo en los puestos o estaciones de trabajo.

Otro caso de éxito fue en la empresa manufacturera en Lima en el área de producción, donde se obtuvo un resultado significativo como se observa en la Fig. 2, adicionalmente se implementan también un TPM para mejorar el OEE como indicador de eficiencia (2019, p.26).

Estadísticos	OEE de la Prensa de tapas	
	Antes	Después
Media	72.08	83.52
Moda	37.53	71.92
Mediana	75.75	85.48
Máximo	91.88	90.52
Mínimo	37.53	71.92
Desviación estandar	14.24	5.49

Figura 2. OEE de la prensa de tapas

Nota. Fuente: Universidad César Vallejo.

Recuperado de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49144/Calderon_CIS-Gonzales_RJG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4. Discusiones

La tecnología de la información, la Industria 4.0 y en sí, la búsqueda del desarrollo

sostenible plantean nuevos desafíos para las empresas que operan actualmente en el mercado (Gackowiec y Otros 2020), por lo tanto uno de los desafíos para las fábricas en la implementación de un KPI'S, especialmente como lo es el OEE, es recabar la información como lo hizo la empresa de prensa de tapas, a través de planillas y un jefe de planta apuntando todo tipo de novedades de producción, este método de recolección es tradicional y obsoleto, a diferencia de la recolección de datos con dispositivos electrónicos como celulares, tabletas, computadores con desarrollo de software a la medida (2019) o a través de un dispositivo IoT como lo hizo la empresa tabaquera que utilizó el IoT para la captura de datos en tiempo real en sus procesos productivos que desde el 2016 al 2017 aumentó su OEE de 66% al 72%. cifra que es significativa sin necesidad de un operario dedicado a recabar cualquier tipo de información.

5. Conclusiones

- Se comprueba que los KPI `S impactan de manera positiva los procesos productivos de una fábrica e industria, siempre y cuando la trazabilidad de la información se mantenga y se retroalimente de manera óptima y
- continua.
Para reducir la brecha que existe entre las grandes industrias y las MiPymes, estas deberían implementar métricas y/o indicadores KPI `S que permitan visualizar de manera periódica y directa información valiosa como los tiempos improductivos y visualizarse en tiempo real para toma de decisiones oportunas.

Referencias

- ANDI - Noticias. (s. f.). ANDI. <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/3319-la-andi-presenta-informe-con-balance-del>
- Bautista, D. R., Parra-Valencia, J. A., & Guerrero, C. D. (2017). IoT: Una aproximación desde ciudad inteligente a universidad inteligente. Revista Ingenio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 13(1), 9-20.
- Belohlavek, P. (2006). OEE: eficacia global del equipo . Grupo Águila Azul.
- Belohlavek, P. (2006). OEE: overall equipment effectiveness. Blue Eagle Group.
- Beltrán, A. (2006). Los 20 problemas de la pequeña y mediana empresa. Sotavento MBA, (7), 8-15.
- Butlewski, M., Dahlke, G., Drzewiecka-Dahlke M., Górny, A., & Pacholski, L. (2017, July). Implementation of TPM methodology in worker fatigue management-a macroergonomic approach. In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 32-41). Springer, Cham.
- Calderon Condor, I. S., & Gonzales Ruiz, J. G. (2019). Implementación de las herramientas del TPM para mejorar la OEE en la producción de tapas en una Empresa Manufacturera Lima, 2019.
- Cancino, R., Petit-Breuilh, J., Navarro, P. P., Mendoza, Y., García, M., Gatica, M., & Mellado, F. (2008). Indicadores de ciencia, tecnología e innovación para la inteligencia competitiva de sistemas regionales de innovación. Cuadernos de Administración, 24(40), 57-72.
- Cardona, M., & Escobar, S. (2012). Innovación en la transformación productiva

- industrial: aportes a la discusión. *Semestre económico*, 15(31), 127-151.
- Dahlke, G., Drzewiecka-Dahlke, M., Górny, A., & Pacholski, L. (2017). Implementation of TPM Methodology in Worker Fatigue Management - A Macroergonomic Approach. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60828-0_4
- De Felice, F., & Petrillo, A. (2015, 1 enero). Optimization of Manufacturing System through World Class Manufacturing. *ScienceDirect*, 48(3). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315004103que-las-hacen-me>
- Dini, M., & Stumpo, G. (2020). Mipymes en América Latina: un frágil desempeño y nuevos desafíos para las políticas de fomento. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44148/1/S1900361_es.pdf
- E. (s. f.). Colombia Productiva - Colombia Productiva. Colombia Productiva. <https://www.colombiaproductiva.com/>
- Editorial La República S.A.S. (2020, 12 julio). Risaralda fue la región donde más creció la producción industrial en enero. *Diario La República*. <https://www.larepublica.co/economia/risaralda-fue-la-region-donde-mas-crecio-la-produccion-industrial-en-enero-2839752>
- Elevli, S., & Elevli, B. (2010). Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(2), 95.
- Encuesta Mensual Manufacturera con Enfoque Territorial (EMMET). (s. f.). DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-mensual-manufacturera-con-enfoque-territorial-emmet>
- Equipo de Competitividad y Desarrollo Productivo. (2018, febrero). Informe dinámicas de producción y comercio exterior de pymes manufactureras. Colombia Productiva. <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=1a3f1658-4ab6-432c-b038-6a2c7d9ad5a8>
- Estudios Económicos. (s. f.). Confecámaras. Recuperado 20 de abril de 2021, de <http://www.confecamaras.org.co/analisis-economico>
- Gackowiec P, Podobińska-Staniec M, Brzychczy E, Kühnbach C, Özver (2020). Review of Key Performance Indicators for Process Monitoring in the Mining Industry. *Energies*, doi:10.3390/en13195169
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. Madrid: Fundación EOI.
- Investigaciones Económicas. (s. f.). Cámara de Comercio de Pereira. <https://www.camarapereira.org.co/es/investigaciones/socioeconomicas/>
- Keyte Clive (2018), How to develop meaningful key performance indicators. *Infrafocus*.
- Krachangchan, K., & Thawesaengskulthai, N. (2018, April). Loss time reduction for improve overall equipment effectiveness (OEE). In 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) (pp. 396-400). IEEE.
- Lee, I. (2019). The Internet of Things for enterprises: An ecosystem, architecture, and IoT service business model. *Internet of Things*, 7, 100078.

- Maisueche Cuadrado, A. (2019). Utilización del Machine Learning en la industria 4.0.
- Maldonado Atencio, A. A. (2010). La evolución del crecimiento industrial y transformación productiva en Colombia 1970-2005: Patrones y determinantes. Escuela de Economía.
- Maldonado Atencio, A. A. (2010). La evolución del crecimiento industrial y transformación productiva en Colombia 1970-2005: Patrones y determinantes. Escuela de Economía.
- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J. R., & Jaca, C. (2018). Using OEE to evaluate the effectiveness of urban freight transportation systems: A case study. *International Journal of Production Economics*, 197, 232-242.
- Muthiah, K. M. N., & Huang, S. H. (2007). Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection. *International Journal of Production Research*, 45(20), 4753-4769.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: total productive maintenance. (Translation). Productivity Press, Inc., 1988,, 129.
- Negocios, E. Y. (2018, 3 julio). Productividad de las empresas, afectada por la ineficiencia. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/economia/empresas/productividad-en-empresas-colombianas-238874>
- Novedad 1. (s. f.). Sentronic. <https://www.sentronic.com.co/oee-medicion-de-eficiencia.php>
- Oliveira, R., Taki, S. A., Sousa, S., & Salimi, M. A. (2019). Global process effectiveness: when overall equipment effectiveness meets adherence to schedule. *Procedia Manufacturing*, 38, 1615-1622.
- Phillipus Jan (2011), The Impact of Implementing World Class Manufacturing on Company Performance. Stellenbosch University
- Proalnet. (2020, 25 febrero). 5 ventajas de instalar un control de piso eficiente –. <https://proalnet.com/blog/72-5-ventajas-de-instalar-un-control-de-piso-eficiente/>
- Riaño Pinzón, J. Metodología para identificar y medir KPIs logísticos para el sector agroindustrial colombiano.
- Rios, C. E. C., & Bedoya, L. J. R. (2009). Contabilidad para MIPYMES en Colombia “contexto y estrategia”. *Gestión joven*, (3), 7.
- Rodriguez, J. A. A. (2007). Fragmentación productiva, multilocalización y proceso de internacionalización de la empresa. *ICE, Revista de Economía*, (838).
- Sacristán, F. R. (2002). Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo. FC Editorial.
- Shoplogix | Cloud-Based Manufacturing IIoT Smart Factory Platform. (2021, 14 abril). Shoplogix. <https://shoplogix.com/>
- Sias García, J. J. (2011). Software para medir el OEE de producción. Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- Sistemas OEE. (2021, 28 enero). Sistemas OEE · Tecnología que mejora la productividad de las fábricas. Sistemas OEE - Technology to Improve. <https://www.sistemasoe.com/>
- Varela, P. C. (2018). Términos imprescindibles

del marketing online: Los 25 conceptos más importantes. Tecnohotel: revista profesional para la hostelería y restauración, (477), 46-47.

Videos. (s. f.). autoflame. <https://www.itautomatizacion.com/oeo>

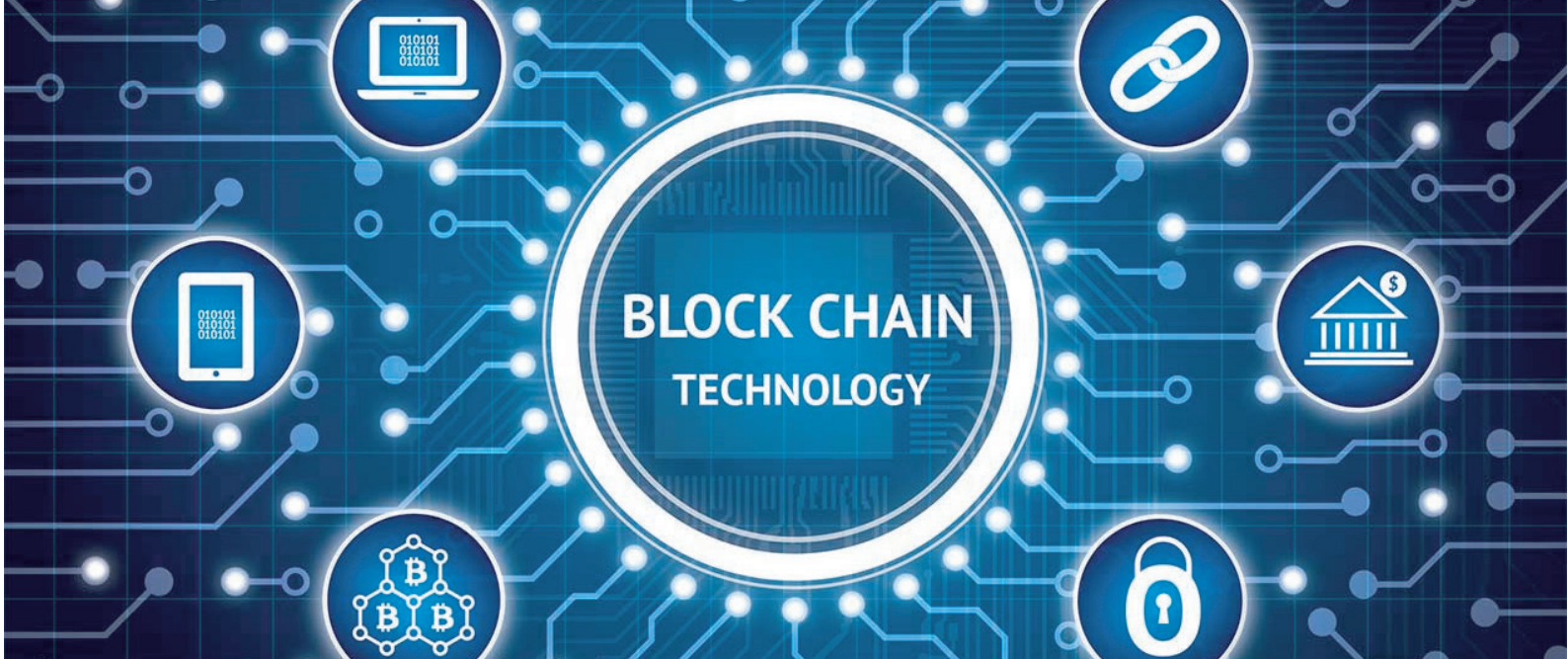
Villa Buitrago, H. J. (2016). Un método para la definición de indicadores clave de rendimiento con base en objetivos de mejoramiento. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Colombia.

Visión OEE. (s. f.). Visión OEE. Recuperado 13 de marzo de 2021, de <https://visionoeo.com/oeo/>

What Is OEE (Overall Equipment Effectiveness)? | OEE. (s. f.). OEE. Recuperado 20 de abril de 2021, de <https://www.oee.com/>

Wu, Y. H., Wang, S. D., Chen, L. J., & Yu, C. J. (2017, December). Streaminganalytics processing in manufacturing performance monitoring and prediction. In 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 3285-3289). IEEE.

Your #1 Partner for the industrial IoT | Smart Factory Experts. (2021, 28 abril). FORCAM. <https://forcam.com/en/>



CERTIFICADOS DIGITALES CON TECNOLOGÍAS BLOCKCHAIN QUE CONTROLAN EL PLAGIO E INCENTIVAN LA AUTENTICIDAD DELARTE ELECTRÓNICO EN EL MERCADO DIGITAL.

**Digital certificates with blockchain technologies that control plagiarism
and incentivate the authenticity of electronic art in the digital market.**

RESUMEN

El arte, la cultura y la ciencia están íntimamente relacionados con el diario quehacer de las personas, frecuentemente se observan creaciones de diversa índole en el universo digital, las nuevas tecnologías basadas en los mundos virtuales, generan escenarios complejos que requieren de modelos y figuras artísticas cada vez más exigentes al gusto del espectador, el cuidado y validación de la información correspondiente a cada obra creada, requiere de mecanismos de autoidentificación y socialización de contenidos desarrollados, buscando evitar el plagio e imitación de creaciones originales. Para la presente investigación se ha indagado y examinado varias fuentes relacionadas con la incorporación de tecnologías “blockchain”,

- Rider Geovanny Benavides Bárcena
rbenavidesb@sena.edu.co
- Pedro Javier Lozada Villota
plozada@sena.edu.co

AUTOR

como un referente que permita encontrar alternativas de adquisición y validación de obras genuinas en diversas galerías de arte en línea, con compradores interesados en la negociación de producciones pictográficas, inmersas en la nanotecnología, realidad aumentada y automodificación de espacios artísticos, con contenidos y diseños futuristas que permitan alcanzar los

objetivo propuestos por una generación de artistas llamados a la acogida de técnicas contemporáneas.

PALABRAS CLAVE: Artistas, blockchain, ciberseguridad, mercado, plagio, protección

ABSTRACT

Art, culture and science are intimately related to the daily work of people, often seen creations of various kinds in the digital universe, new technologies based on virtual worlds, generate complex scenarios that require models and artistic figures increasingly demanding to the taste of the viewer, the care and validation of the information corresponding to each created work, requires mechanisms of self-identification and socialization of developed content, seeking to avoid plagiarism and imitation of original creations. For the present investigation, several sources related to the incorporation of "blockchain" technologies have been investigated and examined, as a reference that allows finding alternatives for the acquisition and validation of genuine works in diverse online art galleries, with buyers interested in the negotiation of pictographic productions, immersed in nanotechnology, augmented reality and self-modification of artistic spaces, with contents and futuristic designs that allow achieving the objectives proposed by a generation of artists called to the reception of contemporary techniques.

KEYWORDS: Artists, blockchain, cybersecurity, business, plagiary, protection

1. INTRODUCCIÓN

Hablar de tecnología y arte en la actual era digital, establece un nuevo enfoque creativo, ligado a la evolución y segregación de un mundo modernista, que busca encontrar innovación a partir de la incorporación de herramientas basadas en el desarrollo de software o hardware computacional, dicha estrategia, establece toda una serie de retos y desafíos vanguardistas, en los que el plagio o imitación de obras artísticas de diversa índole, están a la orden del día, razón por la cual, al hablar de arte digital, "No hay ningún Genio aislado del mundo e inspirado por las Musas -la cultura la construye la gente en su intercambio de información, en la reutilización de cosas que ya se han hecho en el pasado, y siempre ha sido así-. La cultura no es sino un enorme plagio sin fin en el que nadie inventa nada, la gente sólo reutiliza lo existente, y esta remezcla siempre se produce de un modo colectivo; nadie crea de la nada. Esto también ocurre en el "mundo real", lo que sucede es que la red lo pone en total evidencia. Ya no es necesario mutilar cuadros (Alexander Brener) o ponerles un bigote a las postales de Mona Lisa (Duchamp), ahora el arte puede ser descargado en el ordenador, modificado y subido de nuevo a la red con facilidad (L. Blissett, s.f.).

Bajo esta premisa, es posible aseverar que el arte en la red, se encuentra enmarcado por la crítica, dentro de las representaciones artísticas con soportes electrónicos, lo que se denomina actualmente, arte electrónico (M. Moisés, 2015). Dadas estas circunstancias y teniendo en cuenta los aportes que se han generado, el Ministerio de Cultura y el

DANE, presentan indicadores del sector cultural, cuyos resultados demuestran que para el 2014, el sector aportó ganancias por 6,5 billones de pesos y aportó con 199.698 empleos, una cifra muy cercana al de los empleos generados por la actividad de Minas y Canteras, que para el caso fueron de 200.455 (I. Semana, 2017). Es claro entonces establecer que, en Colombia el Área de Artes Visuales del Ministerio de Cultura, recoge una larga tradición artística, como son los Salones Nacionales y Regionales de Artistas (M. d. Cultura, 2018), que, en su medida, proporcionan recursos significativos para el crecimiento y desarrollo económico y social de la región.

Siguiendo con dicha proposición, el Ministerio de Cultura de Colombia y el Consejo de Artes y Letras de Quebec – CALQ –, de Canadá, se han asociado con el propósito de fortalecer el diálogo entre las comunidades artísticas, a través del apoyo a artistas y creadores individuales colombianos, para el desarrollo de un proyecto creativo en Montreal, provincia de Quebec, Canadá, que les permita el encuentro con creadores internacionales y el conocimiento de diversas culturas. Aportes significativos que sin duda coadyuvan al fortalecimiento de las columnas centrales en la consecución de relaciones universales y que, además, den lugar a propósitos de vanguardia y reconocimiento mundial.

En la actualidad el gobierno nacional está interesado en incentivar el crecimiento de la cultura, para ello, se presenta la oferta del Programa Nacional de Estímulos 2018, con 155 convocatorias, representadas en la entrega de más de 740 estímulos, por

un valor de \$12.500 millones de pesos, aproximadamente (M. d. Cultura, 2018), lo cual representa un gran incentivo en el desarrollo de la cultura y el arte; la adhesión de estos factores en conjunto con las nuevas tecnologías, generan aportes significativos a los procesos de competitividad en los mercados emergentes, fortalecen el desarrollo humano, mejoran la calidad de vida de las personas, e impulsan el crecimiento y ampliación de posibles nuevas alternativas, como respuesta a un llamado de la sociedad, en el ámbito de la creación artística y segregación de posibles alternativas inadecuadas de plagio y reutilización de recursos artísticos de diversa índole. Al respecto, E. Bonet menciona: “en el ámbito artístico, el apropiacionismo no se debe entender como plagio del material ajeno, sino más bien como un proceso de reciclaje donde se retoman imágenes ajenas para otro propósito y sin pretender plagio comercial (A. V. d. E. B. y E. B. Alcoz, 2008).

En concordancia a lo planteado, las redes de arte o “net.art”, se han creado como la disfunción de una pieza de software y utilizado originalmente para describir la actividad artística y comunicativa en Internet (A. Bookchin, 1999). Tal y como lo expresa un ingeniero de software gráfico, Rama Hoetzlein, quien dice que los artistas “de los nuevos medios” actuales, tienen que pensar no solamente en las herramientas del presente, también deben establecer un diálogo con los artistas del pasado, que a la vez nos persiguen y nos desafían para que ascendamos sobre lo mundano (Ecuavisa, 2012). Aspecto este, importante, ya que determina las actuales condiciones de civerplagio, dispuestas por muchos

internautas que solo buscan una alternativa de negocio fácil o fama temporal, que les permita transformar, incorporar y difundir obras de diferente autoría, sin tener en cuenta el esfuerzo, encanto e innovación de autores originales.

Para dar una idea general de los contenidos estipulados en el presente artículo, se procura encontrar respuesta a preguntas relacionadas con:

RQ1: ¿Cuál es el comportamiento actual del mercado en creaciones artísticas?

RQ2: ¿Qué lineamientos hacen posible el control de derechos de autor, sobre creaciones de diversa índole a partir de la incorporación de tecnologías “blockchain”?

RQ3: ¿Qué tipo de herramientas basadas en tecnologías “blockchain” se están utilizando actualmente para la protección de plagio?

Finalmente, Para la elaboración del presente documento se tuvo en cuenta una serie de etapas generales que representan de forma concreta y especifica los ítems desarrollados: en la primera etapa, se establece una concepción de los contenidos dispuestos en la presente investigación, a partir de la introducción paulatina en procesos relacionados con la tecnología, el arte y el plagio de obras artísticas, que den lugar a una contextualización general sobre el ámbito que los rodea; para la segunda etapa, se genera una descripción relativa a las actuales condiciones dispuestas en el mercado de obras culturales y su posible adaptabilidad en el mercado electrónico, bajo parámetros de calidad y seguridad, en

el otorgamiento de licencias y derechos de autor con tecnologías “blockchain”. En la tercera etapa, se argumenta sobre el tipo de metodología aplicada, para el desarrollo de la presente investigación; en la cuarta etapa se procede a deliberar sobre el alcance y trascendencia de los resultados encontrados; posteriormente se encuentra una quinta etapa de estudio, en donde se plantean referentes de discusión relacionados con alternativas de innovación tecnológica, que permitan resguardar, compartir y consolidar de forma segura, la información dispuesta por parte de los autores con obras de diversa índole; finalmente, en la sexta y última etapa, se consolidan las conclusiones derivadas del estudio realizado.

2. METODOLOGÍA

La investigación desarrollada es de tipo descriptiva, basada en la recolección y validación de las fuentes de información primaria consultadas, donde las variables de referencia ayudan a comprender el estudio de la cultura y el arte a partir de los preceptos de los sectores de la tecnología digital, la valoración de los fenómenos que se presentan, ayuda a comprender la naturaleza y validación del comportamiento del blockchain y como poder controlar el plagio del arte electrónico en un mercado digital cambiante.

De igual manera, se realizan procesos investigativos de tipo cuantitativo, que facilitan encontrar datos estadísticos relevantes que permitan vislumbrar nuevas alternativas adaptadas a las condiciones propias de ciberseguridad del comercio electrónico y el uso de transacciones en

cadena de bloques (blockchain), como una alternativa ágil y dinámica que permita el respeto de autoría, y la validación de información real y consecuente, para combatir el fraude o plagio de creaciones artísticas, a partir de parámetros claros y precisos, estipulados las tecnologías actualmente emergentes.

Para el análisis de la información recolectada, se caracterizaron y priorizaron las fuentes de referencia consultadas de manera transversal, partiendo de un total de 97 fuentes de información, organizadas entre revistas, artículos, libros, informes de trabajos, periódicos y otros remanentes de información relacionados con referentes electrónicos; al estructurar los datos recolectados de acuerdo a las condiciones propias del arte y las ramas que la relacionan con la computación digital, se consolidan las fuentes de información a 58 referentes bibliográficos, a partir de los cuales, se desarrolla y consolida la presente investigación.

Teniendo en cuenta la valoración de dichas fuentes electrónicas de consulta, se valida la información, haciendo inferencia deductiva a través de una serie de cadenas de búsqueda, que estipulan frases y palabras representativas al propósito dispuesto en el tema propuesto.

3. RESULTADOS

El mercado del arte ha crecido considerablemente durante los últimos años; Durante 2015 fue registrado un total de 63,8 billones de dólares en ventas de obras artísticas, con un aproximado de 38.1

millones de transacciones, de manera que este mercado se ha convertido en uno de los sectores en los que podría resultar de gran utilidad la adopción de la tecnología empleada por “Bitcoin” y otras criptomonedas, para optimizar algunos de sus servicios e impulsar su crecimiento (A. Hernández, 2016).

El día de San Valentín, por ejemplo, una obra de criptoarte se vendió por el equivalente de un millón de dólares: la representación de una rosa, cuyo precio es el más alto pagado por una obra de arte virtual (R. Ross, s.f.). Por su parte Rafael del Castillo Ionov, explica que “La tecnología blockchain permite crear registros de certificados digitales de autenticidad y origen que permitan verificar la autenticidad de una obra de arte y ofrecer un registro histórico de dicha obra a lo largo del tiempo, Los operadores podrán financiar sus proyectos mediante una Oferta Inicial de Moneda (ICO), lo que permitirá convertir piezas artísticas de baja liquidez y un elevado valor, en unidades financieras negociables con mayor liquidez, como si se tratara de acciones de una sociedad (C. Fernández, 2018). El negocio de obras artísticas de diversa índole está en constante crecimiento, las grandes casas de subasta tendrán que pensar en nuevas alternativas de diversificación, ya que las nuevas tecnologías no dan tregua, diversifican sus estrategias de mercado e incentivando la inversión a partir de nuevas tecnologías basadas en la comercialización de criptomonedas.

En línea con esto, Deloitte, presentó recientemente una serie de experimentos utilizando la tecnología, durante la

conferencia de “blockchain”, Consensus 2016 de CoinDesk, en Nueva York. también reveló alianzas con las empresas emergentes de la industria, como BlockCypher, Bloq, ConsenSys Enterprise, Loyyal y Stellar (All4bitcoin, 2016). Patrick Laurent, líder tecnológico y socio de Deloitte, dijo en un comunicado: El libro distribuido de la Blockchain puede rastrear la trayectoria de los trabajos artísticos. Cuando esta tecnología es empleada en el mercado del arte, todos los eventos en el ciclo de vida de una obra son trazables y rastreables. Esta aplicación aborda una de las principales preocupaciones de este mercado hoy en día, específicamente la frágil documentación referente a la proveniencia y los movimientos de una pieza artística (P. Hernández, 2016). En última instancia, el objetivo se basa en garantizar la autenticidad de una obra de arte y rastrear la historia de la propiedad y el uso de esa obra. La prueba de concepto de Deloitte, llamada ‘ArtTracktive’, fue desarrollada por su oficina de Luxembourg, y según la firma, busca proporcionar un canal para compartir información distribuida entre artistas, propietarios, galerías y cualquier persona involucrada en el transporte de una obra de arte.

Con un crecimiento muy sólido en 2017 el mercado del arte ha entrado en una nueva era, la facturación de las artes plásticas alcanzó 14.900 millones de USD en todo el año 2017. La facturación global aumentó más de un 20 % respecto del año anterior. El crecimiento medido en el primer semestre (+ 9 %), se convirtió en un impactante crecimiento en el segundo semestre (+ 32 %). En todo el mundo, 502.900 obras de arte, se vendieron públicamente en 2017 (+

3 %). La tasa general de obras no vendidas fue del 34 % (respecto del 36 % en 2016). El índice de precios de arte global de Artprice, finalizó el año estable en comparación con 2016. En 2017, la intensa competencia entre China y EE. UU, generó un crecimiento explosivo en Occidente, pero confirmó el papel de China como el principal mercado global para el arte, a pesar del crecimiento de EE. UU. de +42 %. El dominio de China se establece con solo 200 millones de USD sobre EE. UU. El arte claramente representa un elemento esencial del arsenal de “Poder blando” de los Estados Unidos y China, y, en menor medida, de Catar y los EAU (A. Thierry, 2018).

El índice global de los 500 mejores artistas de Artprice 2017, incluye a 231 artistas europeos, 162 asiáticos y 82 norteamericanos. Entre los 10 principales se encuentran 4 artistas chinos, 3 europeos y 3 estadounidenses. El año 2017 vio nuevos récords en subastas para muchas figuras de alto perfil en la historia del arte (A. Thierry, 2018).

En la siguiente figura, es posible visualizar los pasos a seguir para la validación de contenidos digitales.

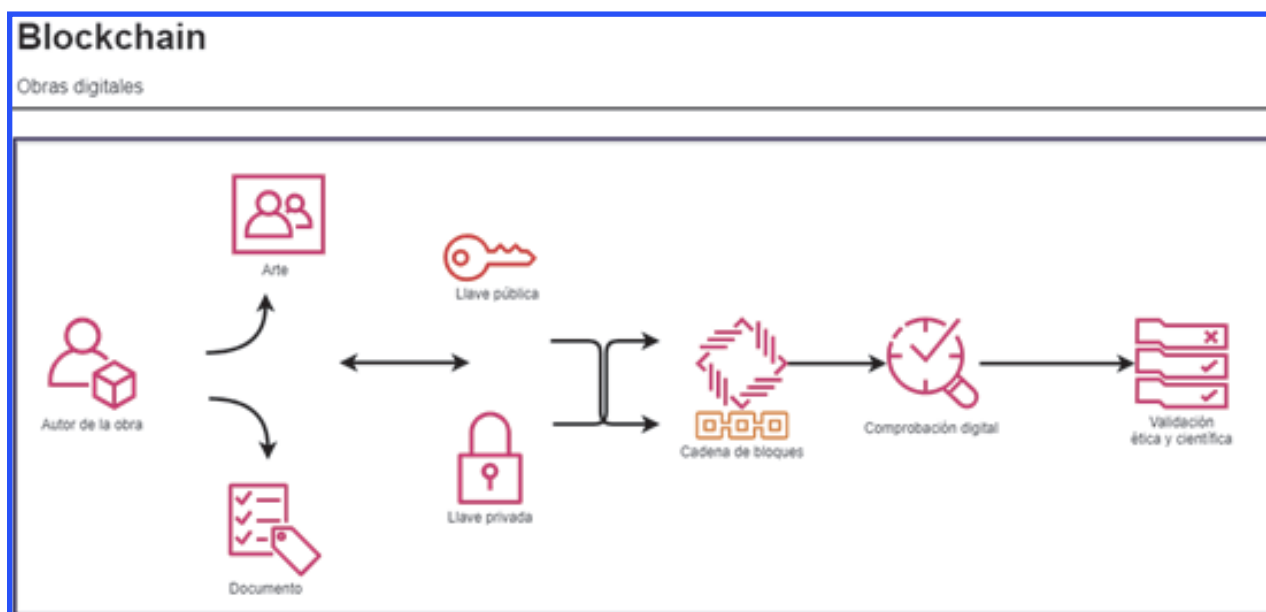


Figura 1. “Blockchain” y Obras Digitales
(Fuente propia)

Los líderes de este fondo creen que los nuevos cripto-millonarios y cripto-multimillonarios serán compradores activos de objetos de arte. Codex también está trabajando en la creación de la aplicación Biddable, que permitirá apostar en subastas de arte con cripto-monedas (Bloomberg, 2020). La ciencia basada en la creación de arte y obras digitales está en su auge más alto, sin lugar a dudas se trata de una alternativa dinámica para la incorporación de nuevas tecnologías, como un aliado versátil que permite alcanzar los niveles esperados de autenticidad y buen manejo de la propiedad intelectual.

Respecto a las condiciones de inversión para el arte, en los últimos años, la estimación es un rendimiento promedio de la inversión de 5.9% por año (ArtPrice). No solo estética, sino también bienes a proteger, Los sectores que han dominado en los últimos años, basados en los datos de Arts Economics (A.

B. & UBS, 2017) son los del Arte Moderno y Contemporáneo que prevalecen tanto para el número de transacciones (68% del mercado), como por su valor (76% del mercado). El número de obras de arte presentes en el mundo es difícil de documentar, así como el número de sus propietarios potencialmente interesados en obtener el Certificado Digital, cuantificable en el orden de decenas de millones de sujetos. Según la estimación del informe anual de la Fundación Europea de Bellas Artes (TEFAF Maastricht) en 2016, el valor del Mercado del Arte a nivel mundial es de 45 mil millones de dólares, un 1,7% más que en 2015. ArtPrice informa que solo las 20 primeras casas de subastas registraron una facturación de \$ 9,7 mil millones para un total de 88,535 transacciones. Las estadísticas de TEFAF también se basan en una muestra de 5.000 concesionarios a nivel mundial, por lo que se descuida la abrumadora mayoría. En 2016, las casas de subastas representan el 38% del mercado global de \$ 16,9 mil millones (TEFAF Maastricht). Está claro que 88,000 transacciones, representan solo una pequeña parte de las ventas totales, que a

su vez simbolizan una parte muy pequeña de las obras de arte existentes (B. Serafino, 2018).

La aplicación UProov, para teléfonos inteligentes, ofrece pruebas móviles en “blockchain” para fotos, videos y grabaciones de audio, sirviendo como un notario de contenidos digitales que se autentica a través del sellado de tiempo y verificación de geolocalización en tiempo real. Además de permitir la autenticación de los derechos de los propietarios de contenido digital, UProov parece ser útil para situaciones cotidianas, para demostrar todo lo que sucede a su alrededor (R. Simón, 2016). Se trata de una aplicación versátil que puede incorporarse en dispositivos inteligentes, lanzada por Ledger Assets Pty Ltd, en diciembre de 2015, en la App Store, las imágenes, fotos, audio o video, pueden ser registradas por medio de marcas de tiempo, con encriptación dinámica y verificación por geolocalización en tiempo real, desde cualquier lugar del mundo, generando versiones genuinas de los archivos suministrados y evitando la posible alteración de sus contenidos, ya que si la codificación suministrada no corresponde al seriado creado en “blockchain” el sistema lo detecta de forma inmediata. La aplicación tiene múltiples usos, además de demostrar y registrar autorías (J. Sandoval, 2016).

Otro tipo de aplicaciones para la protección de derechos de autor, basadas en tecnologías “blockchain” son Blockai, Mediachain, Uproov, Artrtractive by Deloitte, Monegraph, Proof of Existence, Ascribe, Verisart y Paddle8. Con ellas los artistas noveles, no tendrán que preocuparse por contratar los servicios de un especialista en autenticación

de obras y podrán controlar la difusión de su arte de una forma mucho más eficaz (C. Juan, 2015).

Para conocer un poco más sobre dichas aplicaciones, a continuación, se presenta una descripción general sobre su funcionamiento.

P8Pass, es un certificado digital con datos codificados continuamente en una cadena de bloques que se vincula a directorios digitales, información de catálogos de museos y literatura especializada. Cada obra de arte comprada en Paddle8 obtiene un certificado con acceso directo al historial de propiedad e información de autoría. El servicio fue desarrollado en colaboración con la empresa tecnológica estadounidense Verisart, una de las inversiones minoritarias de The Native (R. Veronika, 2018).

Paddle8, hace que la recopilación y venta de arte en línea sea una experiencia fácil, eficiente y agradable. Paddle8 presenta subastas curadas por especialistas, subastas sin fines de lucro, ventas privadas y de compra, ahora en las categorías de Posguerra y Arte Contemporáneo, Grabados y Múltiples, Fotografías, Arte callejero y Coleccionables (V. Paddle, 2018).

Verisart. “...quiere democratizar el proceso y reducir la importancia de los intermediarios que verifican la autenticidad de las obras de arte. Utiliza la cadena de bloques de “Bitcoin” para verificar la procedencia y autenticidad las obras de arte” así lo indicó su fundador Robert Norton, quien añadió que “...el problema de verificación es tan viejo como el arte mismo”. (E. Valesk, 2018).

Ascribe. Que se traduciría en castellano como atribuir o asignar, permite literalmente eso. A través de esta aplicación, los artistas pueden registrar sus creaciones digitales bajo su propiedad intelectual con un sello del tiempo en la cadena de bloques de “Bitcoin”. Cuando los artistas venden la obra, la cadena de bloques confirma que están transfiriendo los derechos de autor (en forma de una licencia) al nuevo propietario (OroyFinanzas, 2020).

Arttracktive by Deloitte, Patrick Lauren, socio y líder de tecnología de Deloitte Luxemburgo, dice que “...el libro distribuido de la “blockchain” puede rastrear la trayectoria de los trabajos artísticos. Cuando esta tecnología es empleada en el mercado del arte, todos los eventos en el ciclo de vida de una obra son trazables y rastreables. Esta aplicación aborda una de las principales preocupaciones de este mercado hoy en día, específicamente la frágil documentación referente a la proveniencia y los movimientos de una pieza artística” (A. Hernández, 2016).

Uproov, tal y como lo menciona John Bulich, co-fundador de Uproov y de la empresa con sede en Australia, LedgerAssets, “...Estos registros de las llamadas realizadas, no pueden ser alterados de ninguna manera. El cliente posee total control de los datos y archivos de audio, y puede decidir con quien compartirlos. No es imprescindible que el usuario tenga que depositar su confianza ni dejar sus registros de audio en Uproov, estos estarán a resguardo en el teléfono” (Shadowargel, 2016). Esta aplicación también podría ser de suma utilidad en el ámbito jurídico y en disputas legales, pues proveería pruebas irrefutables en forma de

fotos, grabaciones de audio o video para demostrar la veracidad de determinado asunto (G. Iván, 2016).

Blockai, se trata de (H. Martín, 2016) “... inteligencia artificial para crear huellas digitales para todos aquellos trabajos que tengan derechos de autor, para protegerlos y asegurar que el artista reciba una ganancia económica” explicó Nathan Lands, CEO de Blockai. “Parecido al sistema de identificación de Youtube pero para todo Internet. Estamos comenzando con imágenes, pero eventualmente trabajaremos con videos, música y cada tipo de trabajo que tenga derechos de autor”.

Mediachain , Su plataforma permite crear una capa de datos compartidos, que según ellos es clave para resolver el problema de la atribución, dando facilidades a los creadores y propietarios de los derechos y habilitando un modelo más eficiente y sostenible para la creatividad online, los usuarios no solo pueden adjuntar información a los ficheros y obras creadas, sino también realizar búsquedas inversas para localizar a los creadores. Y eso, en último término, permite pagar de forma justa a esos creadores y a quienes han participado en todo el proceso de creación y distribución de esas obras (P. Javier, 2017).

Po.et se lanzó en septiembre de 2017 con el objetivo de comenzar a desarrollar tecnología y herramientas para ayudar a potenciar un entorno de medios libre, aprovechando el poder de “blockchain”, para ayudar a los creadores (C. Albeanu, 2018).

Maecenas Fine Art, apunta a crear una

plataforma donde se pueda fraccionar la propiedad de una obra de arte mediante la tecnología “blockchain”. En un segundo estadio, apunta a que esta fraccionización se pueda intercambiar, como acciones de una empresa en una bolsa de valores. Se trata de una tecnología que garantiza de manera descentralizada el traspaso de propiedad de un archivo electrónico o información. Dicho de otra manera, que un nodo pueda enviar información y ceder la propiedad de esta a otro nodo, y que esta transacción-traspaso pueda ser verificada por varios nodos. En consecuencia, si uno o varios nodos son eliminados y/o hackeados, aun así queda registro de la cadena y sus transacciones (E. Pineyro, 2018).

Los contratos inteligentes también eliminan la necesidad del uso de intermediarios como corredores y distribuidores, y facilitan las transacciones confiables incluso entre desconocidos completos. Al igual que otras plataformas basadas en cifrado, Maecenas usa un token llamado “ART”, basado en sus contratos financieros. Estos contratos inteligentes dan mayor transparencia y equidad al mercado, al ser acordados y luego colocados en un libro mayor de “blockchain”. Estelibropúblico, solo se puede hacer de manera realista en “blockchain” especialmente con la emisión de acciones digitales y certificados de obras de arte (D. Juan, 2018). Después de lanzar la start-up en el 2018, los fundadores anunciarán las obras de arte disponibles para la inversión de artistas como Picasso, Monet, Braque, Pissarro, Giacometti, Brancusi, Modigliani, Renoir, Chagall, Munch, Sisley, Warhol, Basquiat, Lichtenstein, Soulages, Beuys, Duchamp, Bacon, Sam Francis, Dubuffet,

Bourgeois (B. Sandra, 2018).

Con OneName, por ejemplo, Shea indica que “...los usuarios podrán recuperar el control de su información personal, y compartirla con los desarrolladores de aplicaciones que deseen, sin la aprobación de un tercero” (R. Pete, 2014). Por tanto, podría convertirse en la forma más importante de identificación que poseas, con la posibilidad de combinar el carnet de conducir, el DNI, el pasaporte y la tarjeta de la seguridad social. Tiene el potencial de convertirse en el puente disruptivo entre la identidad física y una identidad digital realmente segura y privada, y todo gracias a la cadena de bloques “blockchain” (Oroyfianzas, 2015).

Otro ejemplo se establece con BitID, la única información que un usuario debe proporcionar a una página web es su dirección de billetera. Después de escanear un código QR en el sitio con el dispositivo móvil del usuario o hacer clic en el código QR en el dispositivo móvil por primera vez, el servidor crea una nueva clave privada para ese monedero (H. Stan, 2014). Las tecnologías desarrolladas se adecuan cada vez más a las diversas necesidades de las personas, buscando mayores facilidades en las tareas que realizan, teniendo en cuenta su versatilidad y capacidad de acceso en cada una de las aplicaciones emergentes.

4. DISCUSIÓN

El mercado de creaciones de diversa índole se incorpora cada vez más en la multimedia, su acogida por parte de los usuarios, crece día a día de acuerdo a los avances propios de la tecnología, haciendo que cada vez sea

más difícil controlar el acceso a contenidos con derechos de autor. Para que esto sea posible, el titular del derecho de autor debe autorizar la difusión de la obra en eventos como conciertos, exposiciones o presentaciones, inclusive si el contenido empleado se encuentra grabado (P. Drahos, 2002). “blockchain” tiene la capacidad de desintermediar entornos de contenido. Cualquier archivo de música, video, texto al que se le pre-asigne un valor determinado puede ser compartido públicamente, consumido y monetizado sin la participación de un tercero. Si a este entorno se le añade la posibilidad de realizar micro-pagos en forma de monedas virtuales como “Ether” “Monero” o “Bitcoin” podemos prever que la posibilidad de la creación de un ecosistema de media abierto y participativo basado en contenidos de pago, es algo muy cercano y que crearía un escenario con el potencial de cambiar las reglas de la industria de contenidos una vez más (B. Alberto, 2017).

La consecución de nuevas alternativas para la protección y aseguramientos de los derechos de autor, exige la incorporación de una plataforma en la que se aplique todo el poder notarial, prueba de existencia (POE) de la “blockchain” en el proceso de registro de contenidos, de esta manera se crean automáticamente sellos de tiempo incorruptibles que certifican la autoría de cualquier obra digital, dirigido a todos los artistas, músicos, diseñadores, escritores y profesionales del sector audiovisual que producen contenido digital y usan Internet para vender o distribuir sus creaciones entre sus fans y seguidores. (Creativechain, s.f.).

Tal y como lo menciona el pintor Philip

Colbert en una de las entrevistas hechas por Bloomberg “...Tengo un distribuidor en Japón que no deja de insistir en que tengo que encontrar mejores formas de certificar mi trabajo, ya que las personas perciben el arte como una inversión”. “...El arte es un tipo de moneda; en las subastas, su valor depende en gran medida de la procedencia”. (U. Rodrigues, 2018).

El servicio de autenticación integrada basado en “blockchain” apunta a maximizar la facilidad de uso de las aplicaciones móviles. Anteriormente, las diversas ramas de Shinhan Financial Group, utilizaban aplicaciones de autenticación separadas. La solución integrada basada en “blockchain” simplifica el proceso, permitiendo a los clientes acceder a servicios de aplicaciones, sin iniciar sesión por separado (N. Armando, 2018). Se trata de una alternativa multiplataforma que permite llegar todos los usuarios, para verificar la autenticidad de los contenidos generados.

Al tratarse de una herramienta para la consecución y valoración de obras creadas y producidas a partir de contenidos digitales de diverso orden, la Plataforma “blockchain” de registro y distribución multimedia, certifica de manera imborrable la propiedad intelectual y licencia del arte digital, haciendo verificable y demostrable su autenticidad en cualquier ámbito y lugar de acceso a la plataforma desarrollada (D. Proto, 2017).

El arte digital pueden ser bocetos originalmente en papel, pero escaneados y editados en la computadora o quizás imágenes retocadas o modelos diseñados por CAD. Los artistas digitales se enfrentan a muchos problemas

cuando se trata de proteger la autenticidad y la propiedad de sus piezas, y esto es particularmente cierto con las imágenes. Con la tecnología “blockchain”, es posible recopilar y sistematizar el arte digital porque “blockchain” se puede comparar con el copyright (B. Sandra, 2018). Este tipo de tecnologías diversifica la forma de diseñar y comercializar las nuevas formas de arte.

Así por ejemplo “Creativecoin” es una de las cripto-monedas creadas para resolver las necesidades propias de las comunidades creativas, en su afán de producir y distribuir contenidos digitales. De igual manera es posible encontrar en Microsoft y Ernst & Young (EY), una ambiciosa solución inspirada en la tecnología “blockchain” que persigue agilizar los procesos, permitiendo a los creadores de contenidos, el cobro de los derechos legítimos por sus obras. Esta plataforma ya se está aplicando a socios editores de juegos de Microsoft, sin embargo, todavía dista para que esté en pleno funcionamiento (S. X. Z2, 2018). Las grandes industrias tecnológicas, están obligadas a la creación de aplicaciones conjuntas que permitan llevar un control y correcta verificación de contenidos, de acuerdo a los parámetros de autenticidad previa, que permitan evitar la desviación de recursos propios por la indebida o deshonesto utilización de sus creaciones.

El libro distribuido “blockchain” puede trazar el camino de las obras de arte. “...Cuando esta tecnología se utiliza en el mercado del arte, todos los eventos en el ciclo de vida de una obra de arte son registrados y rastreables. La solicitud aborda una de las principales preocupaciones en el mercado

del arte actual, a saber, la fragilidad de la documentación relacionada con la procedencia y los movimientos de una obra de arte” explica Patrick Laurent, socio y líder tecnológico de Deloitte Luxembourg (D. Pablo, 2017). El registro y verificación de la información relacionada con los autores se encuentra a la mano, pudiendo ser consultada y verificada, desde cualquier dispositivo o instrumento digital conectado a una red emergente.

El subastador de arte en línea estadounidense Paddle8 y The Native, una compañía tecnológica suiza, están lanzando un servicio de autenticación de arte basado en “blockchain” según informó Cointelegraph auf Deutsch. Paddle8 ofrecerá un certificado digital, o P8Pass, para cada una de los miles de obras de arte vendidas en línea y codificará esta información en la cadena de bloques “Bitcoin” (R. Veronika, 2018). Vemos su aplicación al mercado del arte, que es notoriamente opaco, como la punta del iceberg en términos de democratización y cambio de “statu quo” (T. Winklevoss, 2020).

Una de las primeras aplicaciones no financieras de la tecnología “blockchain” fue un servicio denominado Prueba de Existencia desarrollado por Manuel Aráoz a sus 25 años, en Buenos Aires Argentina, con “Bitcoin” y “Proof of Existence” el servicio incorpora el “hash” de un documento en un “blockchain” de “Bitcoin”, explica que se trata de una especie de servicio de notario criptográfico: Como la cadena de bloques o una base de datos pública, o un tipo distribuido de consenso, su documento se certifica de una manera distribuida (C. Daniel, 2014). Un usuario puede usar este “hash” incrustado

para probar que el documento existió para el momento en que el bloque que lo contenía existía, una prueba que no depende de un tercero de confianza, creando un servicio de marca de tiempo descentralizado (H. Robert, 2017).

Esta prueba de verificación permite la validación de la información suministrada, de acuerdo al recurso otorgado en el bloque existente. La Prueba de Existencia permite a su vez, que los usuarios suban un archivo y con el pago de una tarifa de transacción se pueda tener una prueba criptográfica de esto, incluida en la cadena de bloques de “bitcoins”, el archivo real no se almacena en línea y por lo tanto no se corre el riesgo de una publicación no deseada del material del usuario (C. Daniel, 2014).

Las empresas como Google, por ejemplo, promueven la capacidad de los usuarios para controlar los datos de sus servicios. Facebook agregó recientemente la opción de iniciar sesión en los servicios de forma anónima para reducir la posibilidad de que los datos de los usuarios se distribuyan entre las aplicaciones de terceros (C. Daniel, 2014). Howard deja entrever en sus líneas, que la condición para poder beneficiarse de esta tecnología es que la industria esté dispuesta a una mayor transparencia ya que, las repercusiones directas de la implementación de este tipo de tecnología traerían consigo una información precisa y exacta de cada obra artística, algo a lo que quizás los sellos discográficos no estén ni preparados ni dispuestos (OroyFinanzas, 2020).

Según el personal de PubNub (Pubnub,

2017), se tiene las siguientes ventajas al utilizar las tecnologías “blockchain”: Demuestra la propiedad de los datos sin revelar datos reales, comprueba la integridad del documento, usando “blockchain”, puede certificar la existencia del documento sin la necesidad de una autoridad central, en la práctica, esta prueba descentralizada no puede ser borrada o modificada por nadie, es anónimo, por lo que otros no pueden identificarlo ni a usted, ni a sus datos.

Blockchain establece los parámetros y técnicas a tener en cuenta para obtener los beneficios de una red descentralizada, haciendo que la pérdida de información sea mínima y se logren beneficios significativos en estabilidad y seguridad de la información, dichos parámetros, permiten asegurar la veracidad y autenticidad de la información en obras artísticas que a su vez permite generar confianza entre autores y posibles compradores interesados.

Sin lugar a dudas la implementación de tecnologías emergentes, genera altos niveles de innovación y ejecución de estrategias de vanguardia, sin embargo, su ejecución también genera toda una serie de limitaciones en su ejecución, con aspectos relacionados en el alto consumo de recursos energéticos, capacidad requerimientos computacionales en el minado de datos, consecución de algoritmos criptográficos complejos, disposición de protocolos peer-to-peer (P2P), y costos elevados que a la larga, pueden generar ineficiencias en la necesidades dispuestas para la validación de las obras que permitan rentabilizar los costos, beneficios estipulados.

En consecuencia, es claro determinar que en la actualidad aun no son claras las leyes o estándares eficaces que permitan el uso pertinente de este tipo de tecnologías, generando ambigüedad e incertidumbre en la veracidad y disposición adecuada de los recursos disponibles; ya que a la fecha aún se están desarrollando y generando pruebas empíricas que permitan su regulación normativa.

En la actualidad todo tiende a ser falsificado o a ser susceptible de alteración por parte de entes inescrupulosos que buscan beneficios particulares, sin importar los perjuicios generados a terceros, la implementación de nuevas tecnologías que permitan dar mayor confianza en relación a la verificación de autenticidad o consolidación de posibles negociaciones entre oferentes y clientes, según los requerimientos y necesidades dispuestas en el negocio propuesto, logrando mejoras significativas en la capacidad de establecer una red de nodos adaptables y codificables, con altos niveles de rentabilidad relevante y aplicable a cada uno de los entes involucrados.

Finalmente, la necesidad que presentan actualmente los autores de obras artísticas de diversa índole, respecto a mejorar su sistema de respaldo y almacenamiento que cumpla con lo establecido en la ley, establece toda una serie de condiciones que generen mayores niveles de seguridad jurídica en la creación y divulgación de sus obras.

Referencias

- Albeanu, C. (2018). Po.et is working on building new tools to re-empower freedom of the press using blockchain. <https://www.journalism.co.uk/news/po-et-is-working-on-building-new-tools-to-re-empower-freedom-of-the-press-using-blockchain/s2/a723587/>
- Alberto, B. G. (2017). El impacto del Blockchain en los medios digitales. <http://toyoutome.es/blog/el-impacto-del-blockchain-en-los-medios-digitales/40729>
- Alcoz, A. V. (2008). Cine estructural de Found Footage. Trabajo de Investigación para Doctorado en teoría, análisis y documentación, Universidad Pompeu Fabra, Barcelona. Obtenido de Cine estructural de Found Footage.
- Alegra, G. G. (2015). La difusión de la Historia del Arte en redes sociales: el protagonismo del espectador. <http://revistamito.com/la-difusion-de-la-historia-del-arte-en-redes-sociales-el-protagonismo-del-espectador/>
- all4bitcoin. (2016). Deloitte Demos Blockchain caso de uso para la industria del arte. <https://es.all4bitcoin.com/deloitte-demos-blockchain-use-case-for-art-industry-coindesk-4541>
- Ariana Hernández, P. L. (2016). <https://www.criptonoticias.com/aplicaciones/deloitte-realiza-prueba-concepto-para-registrar-trazabilidad-obras-arte-blockchain/>
- Armando, N. (2018). Un nuevo servicio de autenticación integrado basado en blockchain es lanzado por Shinhan Financial Group. <http://infocoin.net/2018/01/22/un-nuevo-servicio-de->

[autenticacion-integrado-basado-en-blockchain-es-lanzado-por-shinhan-financial-group/](#)

Blissett, L. (s.f.). Aleph pensamiento. 0100101110101101.ORG—art.hacktivism. <http://aleph-arts.org/pens/index.html>

Bloomberg. (2018). Por qué el blockchain es necesario en el mercado del arte. <https://es.insider.pro/lifestyle/2018-03-27/arte-como-moneda-por-que-el-blockchain-es-necesario-en-el-mercado-del-arte/>

Creativechain.org. (s.f.). creativechain. <https://www.creativechain.org/proyecto/>

Crónica. (2017). No existe el arte puro ni el desligado del mercado. <http://www.cronica.com.mx/notas/2013/776959.html>

Cultura, M. d. (2018). Artes Visuales. <http://www.mincultura.gov.co/areas/artes/artes-visuales/Paginas/default.aspx>

Cultura, M. d. (2018). Convocatoria de estímulos 2018. <http://www.mincultura.gov.co/planes-y-programas/programas/programa-nacional-estimulos/Documents/Convocatoria%202018/3.Direcci%C3%B3n%20de%20Artes.pdf>

Daniel, C. (2014). Cómo la tecnología de Bitcoin podría revolucionar los derechos de propiedad intelectual. <https://www.coindesk.com/how-block-chain-technology-is-working-to-transform-intellectual-property/>

Draho, P. (2002). Global intellectual property rights: knowledge, access and development. Palgrave

Macmillan: Oxfam: Hampshire, UK. Ecuavisa. (2012). La tecnología y el arte: una combinación para labrar el futuro.

<http://www.ecuavisa.com/noticias/tecnologia/64764-la-tecnologia-y-el-arte-una-combinacion-para-labrar-el-futuro.html>

Elkin, R. (2017). Las redes sociales transforman la naturaleza del arte contemporáneo. <http://esferapublica.org/nfblog/elkin-rubiano-las-redes-sociales-transforman-la-naturaleza-del-arte-contemporaneo/>

Fernández, C. (2018). <https://www.criptonoticias.com/arte/grandes-casas-subastas-arte-investigan-aplicar-blockchain-modelo-negocio/>

Hernández, A. (2016). Deloitte realiza prueba de concepto para registrar trazabilidad de obras de arte en la blockchain. <https://www.criptonoticias.com/aplicaciones/deloitte-realiza-prueba-concepto-para-registrar-trazabilidad-obras-arte-blockchain/>

Iván, G. (2016). Uproov lleva sus servicios de notaría en blockchain a iphone y android. <https://www.criptonoticias.com/aplicaciones/uproov-servicios-notaria-blockchain-iphone-android/>

Javier, P. (2017). Spotify sí que cree en blockchain: así funciona Mediachain, la empresa que acaba de comprar. <https://www.xataka.com/empresas-y-economia/spotify-si-que-cree-en-blockchain-asi-funciona-mediachain-la-empresa-que-acaba-de-comprar>

JUAN, C. (2015). Verisart, Bitcoin al servicio del arte. <http://sobrebitcoin.com/verisart-bitcoin-servicio-del-arte/>

Juan, D. (2018). 4 maneras en que Maecenas es único en el mercado del arte. <https://blog.maecenas.co/4-ways-the-maecenas-blockchain-project-is-unique-in-the-art-market>

- Marc, G. (2018). Es Bellas Artes una buena inversión? ¿Y qué determina los cambios en los precios en el Mercado del Arte? <https://blog.maecenas.co/unfold-art-xchange>
- Martín, H. (2016). Se podrá proteger el copyright a través de la tecnología Blockchain. <https://www.diariobitcoin.com/index.php/2016/07/29/se-podra-proteger-el-copyright-a-traves-de-la-tecnologia-blockchain/>
- Moisés, M. (2015). Arte en la red. <http://personales.upv.es/moimacar/download/arteenred.pdf>
- Natalie Bookchin, A. S. (1999). Net.art de un vistazo. <http://cv.uoc.edu/web/~jatencia/tfc/documentos/netart/net1.pdf>
- News, m. (2012). La tecnología y el arte: una combinación para labrar el futuro. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121004_tecnologia_arte_y_avances_tecnicos_bd
- Oroyfinanzas.com. (2015). OneName: ¿El puente entre la identidad física y la digital? – Modelos de uso Bitcoin. <https://www.oroynfinanzas.com/2015/02/onename-puente-entre-identidad-fisica-digital/>
- OroyFinanzas. (2015). Ascribe usa la blockchain de Bitcoin para el registro de propiedad intelectual. <https://www.oroynfinanzas.com/2015/05/ascribe-usa-blockchain-bitcoin-registro-propiedad-intelectual/>
- Pablo, D. (2017). Blockchain para cambiar el mundo de bellas artes como lo conocemos. <https://ganarpastafacil.com/blockchain-cambiar-mundo-bellas-arte-lo-conocemos/>
- Paddle8, V. (2018). Verisart y Paddle8 anuncian el lanzamiento de P8Pass para llevar los servicios de certificación y autenticación de Blockchain a subastas. <https://www.prnewswire.com/news-releases/verisart-and-paddle8-announce-the-launch-of-the-p8pass-to-bring-blockchain-certification-and-authentication-services-to-auctions-300642008.html>
- Pete, R. (2014). How OneName Makes Bitcoin Payments as Simple as Facebook Sharing. <https://www.coindesk.com/onename-makes-bitcoin-payments-simple-facebook-sharing/>
- Pineyro Pablo, E. O. (2018). existe demanda por tener al arte como clase de activo. <https://www.elobservador.com.uy/nota/-existe-demanda-por-tener-al-arte-como-clase-de-activo--2018818500>
- Promocionmusical. (2015). Blockchain e Industria Musical. Consideraciones y Aspectos Importantes. <https://promocionmusical.es/blockchain-e-industria-musical-consideracion-aspectos-importantes/>
- Proto, D. (2017). [CREA] Creativechain -Plataforma descentralizada de distribución de contenidos multimedia. <https://forobits.com/t/crea-creativechain-plataforma-descentralizada-de-distribucion-de-contenidos-multimedia/3467>
- Pubnub. (2017). Crear un servicio de prueba de existencia en Blockchain. <https://www.pubnub.com/blog/build-a-proof-of-existence-service-in-the-blockchain/>
- Robert, H. (2017). Po.et: nueva plataforma que registra contenidos creativos en

- Blockchain. <https://www.diariobitcoin.com/index.php/2017/08/07/presentan-nueva-plataforma-que-registra-contenidos-creativos-en-blockchain/>
- Rodrigues Vivianne, U. R. (2018). Por qué el blockchain es necesario en el mercado del arte. <https://es.insider.pro/lifestyle/2018-03-27/arte-como-moneda-por-que-el-blockchain-es-necesario-en-el-mercado-del-arte/>
- Ross, R. (s.f.). La criptomoneda ha creado una nueva clase de multimillonario con ganas de gastar dinero. <https://www.xlsemanal.com/actualidad/20180326/bitcoins-millonarios-compran-con-criptomonedas.html>
- SalónKritik. (2012). Artforum: arte contemporáneo vs. arte digital. <http://esferapublica.org/nfblog/artforum-arte-contemporaneo-vs-arte-digital/>
- Sandoval, J. (2016). 7 HERRAMIENTAS PARA REGISTRO DE DERECHOS DE AUTOR EN LA BLOCKCHAIN. <https://www.criptonoticias.com/colecciones/herramientas-registro-derechos-de-autor-blockchain/>
- Sandra, B. (2018). Arte y Blockchain: revolución en la colección de arte. <https://es.cointelegraph.com/news/art-and-blockchain-revolution-in-art-collecting>
- Semana, I. (2017). Las cifras de la cultura en Colombia. <https://www.semana.com/cultura/articulo/cifras-sobre-la-cultura-en-colombia-unesco-ministerio-de-cultura/525541>
- Serafino, B. (2018). La tecnología Blockchain y su uso para la autenticación, el intercambio y el seguimiento de las obras de arte. [https://artid.co/wp-](https://artid.co/wp-content/uploads/2018/03/ArtID-ESu.pdf)
- [content/uploads/2018/03/ArtID-ESu.pdf](https://artid.co/wp-content/uploads/2018/03/ArtID-ESu.pdf)
- Shandowargel. (2016). App Blockchain permite guardar copia inalterable de llamadas telefónicas. <https://www.diariobitcoin.com/index.php/2016/02/05/app-blockchain-permite-guardar-copia-inalterable-de-llamadas-telefonicas/>
- Simón, R. (2016). ¿Donde es utilizado Blockchain además de las finanzas?. <https://www.diariobitcoin.com/index.php/2016/01/19/donde-es-utilizado-blockchain-ademas-de-las-finanzas/>
- Stan, H. (2014). Protocolo de autenticación BitID permite a los usuarios conectarse con Bitcoin. <https://www.coindesk.com/authentication-protocol-bitid-lets-users-connect-bitcoin/>
- Tecnofilia. (2003). Grupo de investigación TECNOFILIA. <http://www.iucesmag.edu.co/grupo-de-investigacion-tecnofilia/>
- Thierry Ehrmann, y. A. (2018). Informe anual de Artprice sobre el mercado mundial del arte en 2017: una alternativa genuina a los mercados financieros, con China en primer lugar. https://www.efe.com/efe/usa/comunicados/informe-anual-de-artprice-sobre-el-mercado-mundial-del-arte-en-2017-una-alternativa-genuina-a-los-mercados-financieros-con/50000209-MULTIMEDIAE_2346546
- UBS, A. B. (2017). The art market. <http://artseconomics.com/#!/the-art-market-2017-an-art-basel-ubs-report>
- Valeska, E. (2018). Es posible registrar y verificar obras de arte en blockchain para evitar la falsificación. <https://www.criptonoticias.com/arte/posible->

[registrar-verificar-obras-de-arte-blockchain-evitar-falsificacion/](https://www.criptonoticias.com/arte/posible-registrar-verificar-obras-de-arte-blockchain-evitar-falsificacion/)

Valeska, E. (2018). Es posible registrar y verificar obras de arte en blockchain para evitar la falsificación. <https://www.criptonoticias.com/arte/posible-registrar-verificar-obras-de-arte-blockchain-evitar-falsificacion/>

Veronika, R. (2018). Subastador de arte en línea para lanzar el servicio de autenticación de arte basado en Blockchain. <https://es.cointelegraph.com/news/online-art-auctioneer-to-launch-art-authentication-service-based-on-blockchain>

Wassim, B. (2018). Blockchain Cambiar el mundo de las bellas artes como lo conocemos. <https://es.bitcoinonair.com/blockchain-to-change-world-of-fine-arts-as-we-know-it-15899>

Winklevoss, T. (2018). Paddle8 and the native announce launch of p8pass, a blockchain art authentication service. <https://thenative.ch/wp-content/uploads/2018/05/P8Pass-Release-FINAL-4.pdf>

Z2, S. X. (2018). Lanzas una plataforma basada en blockchain para ayudar con los derechos de autor. <https://www.sonyxperiaz2.com/lanzan-una-plataforma-basada-en-blockchain-para-ayudar-con-los-derechos-de-autor/>

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los autores referenciados por sus significativos aportes en la construcción de la presente investigación.

REVISTA

TE INNOVA

