

Estado del arte de software para la medición de parámetros físico-químicos en tiempo real

Josué Arrieta¹, Adrián López¹ y Seth Stalley¹

Abstract—In the present day, computers and software systems have become an essential part of our daily lives. This rapidly growing technology has become a central part of the industry, used in everything from process control to quality control. In this paper, we provided a state of art report on software systems, focusing on the quantification of physico-chemical parameters in real time and the different approaches that have been used to study them. Also, different examples of these systems are shown: their importance, how they work, and their corresponding field of usage. Finally, we conclude with the benefits that these software systems provide.

Keywords- Physicochemical parameters, real-time software, control processes, automatization, water chemistry, plastic, nuclear reactors

I. INTRODUCCIÓN

Desde 1960, el mundo ingreso a la llamada Era Postindustrializada, la cual se caracteriza por: un aceleramiento en la investigación espacial, en la medicina, transporte, la electricidad, biotecnología, telecomunicaciones, el uso de energía atómica en el cuerpo militar, entre otros. Este periodo es principalmente caracterizado por el aumento en la eficiencia y automatización de los procesos.

Durante el transcurso de las últimas décadas, en la humanidad, ha ocurrido un gran aceleramiento en cuanto a los nuevos descubrimientos tecnológicos y científicos nunca antes visto. Los países desarrollados, son los que más han logrado avances, que han provocado el desarrollo de la humanidad, facilitando en muchos aspectos la vida humana. Esto se debe a que estos países son los líderes en investigación e innovación. Pero por otro lado, como esta revolución ha tenido aspectos positivos, también trae muchos aspectos negativos; a parte de una gran desigualdad entre las potencias mundiales y los países en desarrollo. Se pueden mencionar: derrames de petróleo, de forestación masiva, desechos radiactivos, contaminación, cambios en el clima, un desequilibrio en los ecosistemas, entre otros.

Un gran campo que se ha venido desarrollando son las telecomunicaciones y los sistemas de información. Desde que se generalizó el uso de la computadora, con el surgimiento del microprocesador y los computadores personales, esta se convirtió indispensable en todo trabajo que se realiza en la actualidad, ya que tiene una enorme capacidad de transportar y procesar información. Ahora para realizar casi cualquier trabajo una computadora personal es casi indispensable. Estos sistemas actualmente son clave para

todo tipo de gestión de procesos y control en temas industriales. Otra revolución, ha sido la introducción del Internet, creando un acceso casi instantáneo a una gran cantidad de información y de una manera sumamente eficiente.

En este paper se quiere conocer el estado del arte de los sistemas utilizados para la medición de parámetros físico-químicos en tiempo real; que han surgido producto de la revolución científico-tecnológica que se dio recientemente. Se quiere conocer qué tan automatizados están este tipo de procedimientos actualmente. Por lo general este tipo de sistemas se utilizan en procesos industriales que se mencionarán más adelante. La importancia de este tema radica en la urgencia y rapidez en que se necesitan este tipo de mediciones. Se ilustra mejor con un ejemplo: si se tiene una planta nuclear, cuyos reactores están sumergidos en agua, se quiere saber el estado de esta en todo momento. Se querían saber distintos parámetros del agua como: pH, conductividad, temperatura y pureza; a todo momento con la mayor precisión posible. Esto con el objetivo para monitorear si hay un cambio considerable en algún parámetro y de esta manera se pueda tomar una decisión óptima a tiempo, para evitar cualquier tipo de desastre. La motivación de este artículo es mostrar la importancia de este tipo de sistemas y además conocer el estado o desarrollo en el que están en el mundo actual.

El objetivo principal de esta paper es investigar y describir el estado de arte de software para la medición de parámetros físico-químicos en tiempo real. Los objetivos específicos son:

- 1) Describir la importancia de software para la medición de parámetros físicos químicos, áreas dónde se pueden aplicar y el uso que se le dan.
- 2) Investigar el estado actual de la implementación de este tipo de sistemas.
- 3) Investigar y describir distintos enfoques que se han utilizado para la medición de parámetros físico-químicos anteriormente.
- 4) Identificar algunos parámetros físico-químicos que se cuantifican.
- 5) Mencionar y describir algunos sistemas de medición de parámetros físico-químicos que se utilizan en la actualidad: su funcionamiento, objetivo y áreas para ser aplicados.

Es importante mencionar que la naturaleza de este tipo de parámetros no será de ningún tipo en específico. El tema no será altamente delimitado, pues se busca conocer el estado de este tipo de sistemas de manera general. Sin embargo se enfatizará en sistemas de control y gestión; especialmente en

*Este trabajo no es soportado por ninguna organización

¹Tecnológico de Costa Rica/Escuela de ingeniería en computación, estudiantes de la carrera Ingeniería en Computación, Cartago, Costa Rica

el área industrial.

Luego de definir los objetivos del artículo, surge el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es el estado del arte del software para la medición de parámetros físico-químicos en tiempo real? Se cree que se ha raelizado mucha investigación en la medición de parámetros físico-químicos. A pesar de este enunciado, se cree que la implementación y uso de software para la medición de este tipo de parámetros, no ha sido muy desarrollada. Se cree que no hay mucha optimización en la obtención de estos datos, y menos aún la visualización en tiempo real de los mismos. Se cree que la gran mayoría de estas mediciones se hacen de manera manual.

La metodología que se utilizará para el desarrollo de esta investigación y el cumplimiento de los objetivos será de revisión bibliográfica y análisis de documentos solamente: revistas, periódicos, libros, artículos académicos, archivos, sitios web, papers, entre otros. Se le dará un enfoque más teórico y no tanto práctico.

Es importante mencionar que esta investigación será de tipo descriptivo. Se pretende indicar las características del fenómeno estudiado. No se pretende buscar una solución al problema, ni las causas de los procesos analizados; sino sólo describirlo.

Este paper se divide en las siguientes secciones: la sección 2 será el Marco Teórico. Contiene una subsección para la aclaración de términos importantes y otras dónde se mencionará el estado del arte. Por la naturaleza de esta investigación, se le enfatizará mayor detalle a la subsección recién descrita. En la sección 3 se pretende mencionar algunos de los sistemas investigados utilizados actualmente para la medición de parámetros físico-químicos: cómo funcionan, el enfoque que utilizan, su importancia y su área de uso.

II. MARCO TEÓRICO

A. Términos importantes

Antes de describir el estado del arte de los sistemas para la medición de parámetros físico químicos en tiempo real es importante mencionar ciertos términos y definir qué tipo de sistemas corresponden a estos.

El primer término que se debe definir es que el sistema deberá ser en línea. Según el ISO/IEC/IEEE 24765:2010, se define *real-time* como aquella característica perteneciente a un sistema en dónde la operación debe ser realizada en un plazo de tiempo determinado cuándo un evento especificado ocurre, de tal manera que los resultados puedan ser usados para controlar o responder de manera oportuna al proceso externo [2]. El factor tiempo es crítico en un sistema de tiempo real, de tal manera que los resultados deben actualizarse de la manera más rápida posible. También esta información además de ser en tiempo real, debe ser correcta.

El segundo término que se debe definir es parámetros físico-químicos. Se puede definir como un valor o número que especifique o determine una característica (o comportamiento) ya sea física o química de algún objeto. [3]. Por ejemplo, parámetros físico-químicos de la atmósfera sería: humedad, temperatura, densidad, presión, entre otros.

A partir de las dos definiciones mencionadas anteriormente, se puede definir un sistema en tiempo real para la medición de parámetros químico físicos como aquel en dónde se puedan visualizar este tipo de parámetros de alguna sustancia u objeto (por ejemplo agua) de forma directa. Esto quiere decir que estas mediciones siempre deberán estar correctas y actualizadas con respecto al tiempo. Se podrán visualizar en cualquier momento.

Otro término que se utilizará durante este artículo será coagulación. Se define como un proceso esencial en dónde partículas suspendidas en el agua son removidas [4]. Se realiza con el propósito de garantizar la pureza del agua y la obtención de distintos sales metálicas o sedimentos: fosfatos, aluminio, hierro, entre otros.

B. Estado del Arte

Luego de realizar una revisión bibliográfica y consultar diversas fuentes, se descubre que hay mucha investigación de parámetros físico químicos así como también mucha implementación para el monitoreo de estos en tiempo real; utilizando sistemas de información. Se descubre que estos sistemas principalmente son utilizados en aquellas situaciones dónde se tienen que monitorear controles de calidad o procesos dónde la seguridad humana es un factor clave.

En primer lugar se analizará un paper llamado *High temperature on-line monitoring of water chemistry and corrosion control in water cooled power reactors* realizado por la *International Atomic Energy Agency (IAEA)*. Este artículo se enfoca principalmente en describir el estado del arte de los sistemas en línea para la medición de parámetros específicamente del agua en los reactores de las plantas nucleares. La IAEA afirma que los parámetros químicos del agua podrían influenciar en la corrosión de los reactores nucleares (así también como de su combustible), por lo tanto es de suma importancia monitorear estos parámetros en tiempo real [1]. De ahí la necesidad e importancia de estos sistemas de software. El agua se utiliza como sistema de enfriamiento y se enlistan algunas propiedades del agua que se tienen que medir: potencial electromecánico, temperatura, pH, conductividad, concentración y medición de partículas. Además la IAEA afirma que aparte del tema de seguridad de los reactores, estos sistemas podrían tener un futuro potencial en la optimización de procesos y prácticas.

”En el presente, la química del agua en plantas de poder son monitoreadas principalmente utilizando sistemas en tiempo real, en líneas de muestreo refrigeradas, o tomando las muestras de tales líneas a intervalos regulares y analizarlas con instrumentos que no son en línea” [1]. Se puede observar que actualmente para la medición de este tipo de parámetros se pueden utilizar ambos enfoques, ya sea utilizando un sistema en tiempo real; o bien tomando y analizando las muestras de forma manual. Esto hace notar que la automatización en la cuantificación de parámetros no esta todavía a un 100%. Sin embargo la IAEA recomienda que se opten por sistemas automatizados en tiempo real, ya que las mediciones de muestras manuales pueden traer las siguientes desventajas: [1]:

- La química del agua y sus propiedades se pudieron haber alterado en el proceso de muestreo. No se obtiene la mejor calidad de muestra.
- Al no ser un proceso en tiempo real, podría ocurrir un atraso de información crítica para un momento dado.
- La completitud de la información de las mediciones obtenidas podrían estar incompletas.

”En años recientes, un número de dispositivos para monitorear las altas temperatura se han estado diseñado y usando en laboratorios, plantas pilotos, reactores de prueba, e inclusive en reactores comerciales” [1]. Esta afirmación de la IAEA hace notar que hay una tendencia a la automatización y monitoreo en línea para la medición de la temperatura, parámetro físico que es sumamente común de medir. Hay un aumento en el uso de estos sistemas, y se deja de lado la cuantificación y procesos manuales.

Según el enfoque que la IAEA le ha dado a su investigación, esta define tres ejes fundamentales que los sistemas para la medición de parámetros deben tener [1]:

- 1) La medición de los parámetros debe ser en tiempo real.
- 2) La medición de los parámetros se deben obtener con un grado de confiabilidad.
- 3) La medición de los parámetros se deben obtener con un grado de precisión. Podría considerarse la utilización de métricas para garantizar la validez de los parámetros físico-químicos.

Si se cumple la medición de parámetros del agua para los reactores nucleares con la tres características recién mencionadas, la IAEA define otros tres objetivos principales a lograr con la implementación de este tipo de sistemas en plantas nucleares [1]:

- 1) Se garantiza que la planta este trabajando de acuerdo a sus especificaciones técnicas.
- 2) Se garantiza que la planta responda de manera correcta a eventos externos por parte del personal.
- 3) Se garantiza poder detectar posibles mal funcionamiento o averías en la planta lo más pronto posible.

En general se promete un mejor entendimiento del funcionamiento de la planta y así también formas de cómo mejorarla. Además, permite la creación de modelos matemáticas y el desarrollo de sistemas expertos.

Ahora se analizará otro paper llamado: *State of the Art of Online Monitoring and Control of the Coagulation Process* el cual fue realizado equitativamente por Harsha Ratnaweera y Joachim Fetting. Este artículo trata sobre el estado del arte del monitoreo y control del proceso de coagulación del agua utilizando sistemas en tiempo real. Este proceso tiene como objetivo la purificación del agua para que sea apta para consumo humano, así como la obtención de minerales de esta. La medición de este tipo de parámetros es clave para determinar la mejor técnica de coagulación posible o para establecer si el agua se encuentra en algún punto óptimo para realizar la coagulación.

Nuevamente se medirán parámetros físico-químicos del agua, pero esta vez levemente diferentes: concentración de fosfato, carga de las partículas, concentración, turbiedad,

color, entre otros. Sin embargo hay parámetros que siempre se consideran estándares: pH, conductividad, temperatura, entre otros.

Los primeros estudios de TeKippe y Ham en visualizar en tiempo real parámetros del agua se dieron en 1970; sin embargo desde un punto de vista general y teórico. En 1990 se implementaron los primeros sensores en línea y Dentel realizó una revisión de estos. Este avance permitió la creación de muchos sistemas de monitoreo para a la coagulación del agua en los últimos 15 años y en el 2004 se dio la primera revisión de estos realizada por Ratnaweera [4].

Es importante mencionar que a pesar de que se han realizado gran cantidad de investigaciones en el proceso en sí de coagulación del agua; actualmente no hay un proceso o método universalmente aceptado. No se han definido exactamente cuáles son los parámetros relevantes a medir para poder optimizar el proceso y el control, debido a la naturaleza compleja del proceso. Sin embargo la neutralización de cargas eléctricas pareciera ser el proceso más aceptado o más utilizado mundialmente. [4].

Ratnaweera y Fetting afirman que la técnica de muestreo manual que fue desarrollada hace 100 años no se adapta a las necesidades actuales para la medición de parámetros al determinar condiciones óptimas con el fin de realizar el proceso de coagulación. Afirman que esta técnica no es adecuada ya que la química del agua puede cambiar rápidamente en tiempo y amplitud. Existe una necesidad de urgencia para la obtención de parámetros. Por otro lado afirman que un sistema de tiempo real para la medición de estos parámetros prometen un proceso continuo; y por esta razón el uso de estos dispositivos se ha vuelto bastante común actualmente [4]. También hay que mencionar que a pesar de que se ha intentado crear sensores en línea, en la práctica su funcionalidad se ve limitada ya que solo se han basado en datos a escala piloto. Otro aspecto que ha influenciado es la falta de estándares; estos sensores son sumamente especializados y no se han podido aplicar de manera general. Sin embargo, se puede notar nuevamente una tendencia a sustituir procesos manuales y automatizarlos. También es importante mencionar que incluso avances en análisis matemáticos sumamente complejos de estos parámetros se están realizando en tiempo real, los cuales prometen mayor eficiencia en el proceso y agilizan la obtención de parámetros.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que además de que estos sistemas muestren en tiempo real los parámetros obtenidos, también es importante que se realicen hipótesis y estimaciones a futuro a partir de ellos. Hay que darle significado a los datos. Ratnaweera y Fetting en su trabajo definen tres enfoques para formar relaciones entre distintos parámetros de entrada con distintos parámetros de salida. Estos se podrán usar para determinar la calidad del agua en conjunto si se requiere. Son los siguientes [4]:

- 1) Análisis de regresión multivariable: es un modelo estadístico para determinar si múltiples variables (o parámetros) guardan una correlación entre sí. Se utilizan índices matemáticos, donde se puede mencionar

el índice de Pearson como ejemplo. Para aplicaciones donde se requieren correlaciones totalmente explícitas y cálculos rápidos; este modelo es el más recomendado.

- 2) Modelos de redes neuronales artificiales (ANN): este tipo de modelos es no lineal, y se basa en una herramienta que debe aprender a reconocer patrones a partir de datos históricos. Este tipo de modelos dan mejores predicciones que un modelo de regresión, pero requieren de mayor procesamiento y muchas bases de datos.
- 3) *Fuzzy logic models*: estos modelos utilizan datos en tiempo real como entrada y un set de reglas lógicas. Por lo general este tipo de reglas son de causa-efecto. El propósito es generar una señal de salida que mantiene los parámetros lo más cerca posibles a un punto predefinido. Este tipo de modelos se acopla al tiempo, de tal manera que son útiles para aplicar a parámetros volátiles que cambian muy seguidamente con el tiempo de forma abrupta.

Una característica en común de estos modelos es que todos requieren una gran cantidad de datos y una exhaustiva evaluación de los mismos.

Algunos de los avances en la utilización de sistemas de procesamiento y visualización de datos en tiempo real en la coagulación del agua son los siguientes:

- Yorkshire Water en Inglaterra reportó que al utilizar un sistema en tiempo real para la medición de parámetros, midiendo la absorbancia UV y el flujo del agua; se ahorraron 1500 toneladas de coagulante. También se redujo la intervención manual en el proceso.
- En China y Noruega muchas plantas de tratamiento de agua utilizan un sistema llamado DOSCON en la coagulación del agua.
- En Australia un software llamado mEnCo© es utilizado en plantas de tratamiento de agua para predecir dosis de coagulantes.
- En la planta de tratamiento de agua más grande de Filadelfia, se utilizó un sistema de esta naturaleza para la optimización de dosis de coagulantes si se trabaja abajo de un pH de 7.0. Arriba de este valor no ha sido utilizado.

A manera de conclusión de este subapartado, se puede observar que a pesar de que desde un punto de vista más teórico, la adquisición de parámetros físico-químicos esta sumamente investigada; así como la formación de modelos abstractos de los mismos. Sin embargo la automatización y la visualización en tiempo real de los mismos, no ha avanzado al mismo paso; pero se puede afirmar que hay una tendencia a la implementación de este tipos de sistemas en los últimos 20 años.

III. EJEMPLOS DE SISTEMAS

En esta sección se pretende mencionar algunos de los sistemas investigados utilizados actualmente para la medición de parámetros físico-químicos: cómo funcionan, el enfoque que utilizan, su importancia y su área de uso.

A. DIPA 2000

DIPA 2000 es un pequeño y simple dispositivo que pretende realizar mediciones de muestras, con el propósito de mostrar por medio de imágenes las partículas que en ella se encuentran en tiempo real. Una característica importante de este dispositivo es que no necesita ningún conocimiento previo ni características de las muestras a analizar. Es de uso general. Viene con una serie de accesorios y lentes para que se acople a cualquier forma y tamaño de muestra. A pesar de que este paper se enfoca principalmente en el software de este tipo de sistemas, es imposible dejar de lado el hardware por la naturaleza misma en la lógica de implementación. Por esta razón se considera importante mencionar rápidamente cómo funciona el hardware, y por supuesto cómo se conectará este con un sistema de software. Ambos están relacionados.

El uso que se le pueda dar a DIPA 2000 es para que los usuarios puedan monitorear la preparación de una muestra dada y evitar cualquier tipo de contaminación. También permitiría la eliminación de partículas que no se desean y el estudio de las mismas.

DIPA 2000 funciona utilizando una técnica de láser llamada *Laser Obscuration Time* (LOT). Esta técnica permite una gran resolución a la hora de visualizar las partículas de los resultados obtenidos en forma de imágenes en 2D. En la figura 1 se puede observar una imagen de este tipo. También LOT permite que los resultados obtenidos no sean afectados de ninguna manera por la composición química ni propiedades de la muestra [7].

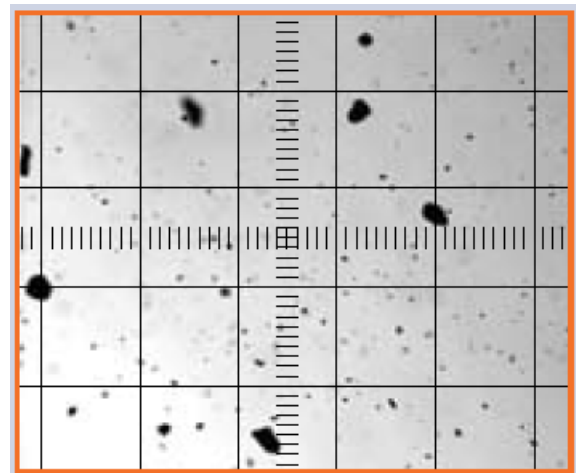


Fig. 1. Visualización de las partículas de una muestra creadas con DIPA 2000 Fuente: [7]

Como se mencionó anteriormente DIPA 2000 tiene como objetivo principal medir el parámetro físico: tamaño de las partículas en tiempo real. Esto incluye la cuantificación de parámetros tales como: diámetro, área, perímetro, circularidad, *aspect ratio*, entre otros. También se mencionan parámetros analíticos de figura.

DIPA 2000 viene acompañado de un software para garantizar una alta usabilidad; dónde se puede visualizar la información generada por el láser y el analizador de imágenes.

Estas se pueden exportar y guardar si el usuario así lo desea. Este software también trae procesamiento de datos que permite: minería de datos, comparación con datos históricos, generación de tablas y gráficos.

Se le pueden dar los siguientes usos a DIPA 2000 en distintas áreas. DIPA 2000 podría ser utilizado en cualquier laboratorio [7]:

- Geología: muestras de arena o arcilla para la investigación de las mismas.
- Ambiental: muestras de agua para analizar las partículas que la componen y determinar la pureza de la misma.
- Energía: análisis de componentes en el combustible.
- Biología: estudio de bacterias, células y análisis de sangre.
- Industria: análisis de polímeros, aceites, papel, pintura, pigmentos, entre otros.
- Productos de comida: para garantizar estándares de calidad e: cervezas, café, chocolate, azúcar, entre otros.

B. APLAIRS

APLAIRS es un sistema que utiliza tecnología de espectroscopia creado por *Optical Control Systems* (OCS). El propósito de APLAIRS es la medición de parámetros en tiempo real del plástico al ser producido; por lo tanto al área de uso del sistema sería aplicado principalmente en la industria. Es un software de control de calidad. Este sistema viene a reemplazar los métodos rudimentarios y manuales que se usaban antes en la elaboración del plástico con procesos automáticos, precisos y en tiempo real. OCS afirman que el sistema no requiere la intervención humana del todo; lo cual supone un ahorro en el costo de producción, así como la calidad final del producto. Algunas de las funcionalidades o características del sistema son las siguientes [6] [5]:

- Posibilidad de medir la densidad o grosor en el polietileno. Este se mide con un subsistema de APLAIRS llamado TM9. Utiliza dos ruedas que se colocan arriba y abajo de la filmina, lo cual la distancia entre ellas sería el grosor de la misma.
- Posibilidad de analizar la composición química de material copolímero.
- Medición de parámetros en el plástico tales como: aditivos (carbonato de calcio, óxido de silicio, etileno, contenido carbonilo, erucamida, oleamida, talco, entre otros), antioxidantes, agentes de deslizamiento, absorbentes-UV, estabilizadores, rellenos, espesor, entre otros.
- Alertas en caso de que se prepare incorrectamente el lote maestro de la fábrica.
- Medición de *Haze*: se cuantifica con un subsistema de APLAIRS llamado Gamma12. La muestra es pasada dentro de una esfera, y esta es bombardeada con luz. La intensidad de la luz que no logra salir de la esfera es cuantificada con sensores muy especializados. El valor de *Haze* es calculado a partir de la proporción de luz que rebota en la esfera respecto al total de luz.
- Medición de brillo: se cuantifica con un subsistema de APLAIRS llamado GM5. Detecta el brillo de las

filminas basándose en su capacidad para reflejar la luz. Se utiliza una luz LED especializada y un detector de fotómetros cuantifica los datos de la luz reflejada.

APLAIRS (y sus respectivos subsistemas) trae consigo también un software para que se pueda operar de manera amigable. Otro factor clave de este tipo de sistemas es proveer una interfaz gráfica altamente usable para mejorar la satisfacción del usuario. El sistema como un todo se puede visualizar en la Figura 2. Este permite la calibración de modelos, la operación del hardware, realizar análisis de correlación de datos multivariable, análisis de calidad modular, predicciones a futuro de distintos parámetros a partir de ciertos parámetros de entrada, visualización de datos históricos, visualización de los resultados en forma de gráficos, implementación y configuración de alarmas en casos donde el usuario así lo requiera, entre otros [5].



Fig. 2. Visualización del sistema APLAIRS. Fuente: [7]

Este sistema como se mencionó anteriormente funciona con tecnología de espectroscopia. Utiliza un espectrómetro FTIR. Este funciona utilizando un flujo continuo de partículas fundidas que pasan a través de un muestreo infrarrojo especial; y con esto se obtienen la medición de los parámetros que forman parte de la composición química del plástico [6].

IV. CONCLUSIONES

En este paper se realizó una investigación acerca de el estado del arte de software en tiempo real para la medición de parámetros físico-químicos. La medición de este tipo de parámetros en tiempo real es importante ya que nos dan resultados de la manera más rápida posible en tiempo de ejecución; con la mayor cantidad de precisión y confiabilidad. Como se mencionó anteriormente, este artículo no se delimitó a alguna área en específico, sino mas bien se le dio un enfoque general y poco profundo.

El objetivo principal de esta investigación era investigar y describir el estado de arte de software para la medición de parámetros físico-químicos en tiempo real. Se quería descubrir su importancia. Para realizar una conclusión general, se debe primero revisar cada objetivo específico y dar una sub-conclusión por cada uno.

- 1) Describir la importancia de software para la medición de parámetros físicos químicos, áreas donde se pueden aplicar y el uso que se le dan: se descubrió que estos sistemas podrían suponer una baja en los costos de producción (procesos automatizados más eficientes, no requieren control humano), aumento de la calidad del producto final y pueden ofrecer un mayor control de procesos. También se descubre que se pueden utilizar en cualquier área (plantas nucleares, fábricas, ambiental, investigación, salud, comida, entre otros); proveendo resultados en tiempo real.
- 2) Investigar el estado actual de la implementación de este tipo de sistemas: se concluye que hay mucha investigación en el cómo obtener y medir estos parámetros, así como modelos matemáticos para la predicción de los mismos. Sin embargo la elaboración de programas en tiempo real para medir estos no avanza al mismo ritmo. Se mantiene siempre el uso de procesos manuales, pero cada vez a menor medida. Se concluye que hay una tendencia a la utilización de este tipo de sistemas en el mercado y en investigación.
- 3) Investigar y describir distintos enfoques que se han utilizado para la medición de parámetros físico-químicos anteriormente: se concluye que no hay un estándar para la medición de estos parámetros, y hay una gran variedad de maneras u enfoques en cómo medirlos. Se puede mencionar el enfoque o categorías que Ratnaweera y Fetting han utilizado para la predicción de parámetros: 1) análisis de regresión multivariable, 2) modelos de redes neuronales artificiales y 3) *Fuzzy logic models*.
- 4) Identificar algunos parámetros físico-químicos que se cuantifican: se concluye que hay una gran cantidad de parámetros que se pueden cuantificar de diferentes sustancias. Como por ejemplo del agua: temperatura, pH, concentración, densidad, pureza, entre otros.
- 5) Mencionar y describir algunos sistemas de medición de parámetros físico-químicos que se utilizan en la actualidad: su funcionamiento, objetivo y áreas para ser aplicados. Se mencionó DIPA 2000 para cuantificar tamaños en partículas de muestras y APLAIRS para parametrizar la composición química en la producción de plástico.

Se logró la completitud de cada objetivo específico y por lo tanto se logra también el objetivo general de esta investigación de tipo descriptiva.

Si se analiza la hipótesis de investigación se puede decir que se tuvo razón en cuanto a que se creía que se había realizado mucha investigación en la medición de parámetros físico-químicos. Sin embargo la otra parte de la hipótesis mencionaba que se creía que estos sistemas casi no se implementaban en el mundo actual. Se concluye que era una hipótesis incorrecta, ya que a pesar de que la implementación de estos sistemas en tiempo real no avanza al mismo ritmo de las investigaciones; no se puede dejar de lado la tendencia que está ocurriendo a utilizarlos. También ha ocurrido una

inclinación por dejar de lado los procesos manuales. Hay un gran número de sistemas de este tipo que se han desarrollado en los últimos 20 años.

A. TRABAJO A FUTURO

En un futuro se podría realizar una misma investigación de este tipo pero más delimitada. Escoger una área donde se quiera investigar. También se podría investigar acerca de modelos matemáticos para la predicción de parámetros.

También en este momento se está trabajando en un software para la medición de parámetros físico químicos del agua en tiempo real. Se está midiendo la concentración de nitratos para determinar si el agua es apta para el consumo humano. Después de la realización de este paper se considera que es posible en un futuro añadir más características del agua y cuantificarlas; y poder realizar estimación de parámetros a partir de ellos. Se podría optar por un modelo multivariable de regresión lineal. También se pueden agregar más subsistemas al proyecto que cuantifican parámetros más específicos, para hacerlo más robusto y completo.

RECONOCIMIENTOS

Reconocemos a la profesora María Estrada del Tecnológico de Costa Rica, por su soporte y orientación en esta investigación.

También se reconoce a la profesora Laura Hernández del Tecnológico de Costa Rica, por la aclaración de dudas que se tuvo al inicio de la investigación.

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). High temperature on-line monitoring of water chemistry and corrosion control in water cooled power reactors. pages 9–12, 6 2002.
- [2] ISO/IEC/IEEE. ISO/IEC/IEEE 24765 - Systems and software engineering - Vocabulary. Technical report, 2010.
- [3] Merriam-Webster. Definition of parameter. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/parameter>. Accessed: 2016-12-25.
- [4] Harsha Ratnaweera and Joachim Fetting. State of the art of online monitoring and control of the coagulation process. *Norwegian University of Life Sciences*, pages 1–17, 11 2015.
- [5] Optical Control Systems. Chemical & physical — property analysers. http://www.ocsgmbh.com/fileadmin/downloads/ocs_chemical-physical-property.pdf. Accessed: 2016-12-27.
- [6] Optical Control Systems. On-line ft-infrared spectroscopy aplairs. <http://www.fkv.it/files/cataloghi/ocs/aplairs.pdf>. Accessed: 2016-12-27.
- [7] Donner Technologies. DIPA 2000. http://www.donner-tech.com/brochure_dipa_2000.pdf. Accessed: 2016-12-26.