

Recibido 01 de diciembre de 2021. Aceptado 02 de marzo de 2022. Publicado 01 de agosto de 2022.

ISSN: 2448-7775

Diseño e implementación de una Arquitectura con orientación a servicios para sistemas tele-operados de captación de agua para generación hidráulica

JOHN ALEXANDER CAMACHO^{1*}, CRISTIAN DAVID CHAMORRO², NAYIVER GLADYS CAICEDO¹.

¹Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

²Facultad de Artes Integradas, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

*Autor de correspondencia: John.camacho@correounivalle.edu.co

RESUMEN El sistema de captación de una pequeña central hidroeléctrica cuenta con diferentes actividades tales como apertura de compuertas, limpieza de tanque desarenadores, limpieza de rejillas entre otros, estos procesos son realizados de manera secuencial y manual por el fontanero lo que afecta los tiempos requeridos para la toma de decisiones, dando lugar a disminución del caudal a turbinar o pone en riesgo la turbo maquinaria debido a que es posible que se turbine agua con sedimentos. Por estas razones surge la necesidad de realizar estas actividades por medio de sistemas electrónicos y computacionales que estén realizando un monitoreo permanente y con la posibilidad de tele-operar los actuadores. Para poder lograr este objetivo, se planteó e implementó una arquitectura con orientación a servicios utilizando Amazon Web Services (AWS), y posteriormente se analizó y comprobó el comportamiento del sistema propuesto obteniendo una mejora en los tiempos de decisión y calidad del agua, en donde se pasó de 10 minutos a 500 milisegundos en la medición de la concentración de sólidos suspendidos, y de 60 minutos a 27.427 segundos en control de la compuerta ecológica.

PALABRAS CLAVE— Arquitectura con Orientación a Servicios, Generación Eléctrica, Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH), Redes de Petri coloreadas, Tele-Operación, Sistema de Captación de Agua.

I. INTRODUCCIÓN

Para la generación de energía eléctrica, Colombia cuenta con recursos energéticos como: petróleo, gas natural, energía hidráulica y eólica [1]. Actualmente el medio de generación más utilizado es el hidráulico con una participación del 69.34% del total de energía producida en el año 2020, seguido de la producida por medio de carbón con un porcentaje de participación del 13.86%, con una participación de 12.73% mediante la utilización de carbón, y el 4.07% restante mediante la utilización de recursos como el queroseno, ACPM (Aceite Combustible Para Motores), biomasa, radiación solar, etc. [2].

Los sistemas de captación de agua, los cuales retienen, encauzan y controlan su flujo hacia las turbinas, se encuentran alejados de las ciudades, de la casa de máquinas y además, su funcionamiento es manual lo que conlleva a una ineficiencia en algunas de sus actividades. La falta de una respuesta rápida y adecuada de la operación de estos sistemas manuales puede ocasionar consecuencias catastróficas en

término de vidas humanas y económicas. Un sistema de captación de agua en una central hidroeléctrica debe garantizar las máximas condiciones de seguridad para las instalaciones de la central hidroeléctrica, el personal de operación, el medio ambiente y las poblaciones cercanas al sistema. Si el sistema de captación de agua se realiza de manera tele-operada es necesario contar con una arquitectura de software que contemple las características y condiciones necesarias de seguridad expuestas en [3]. Esta arquitectura planteada contempla componentes modulares, donde cada uno de ellos tienen una función completamente definida e independiente de los otros módulos del sistema, garantizando la seguridad e integridad de la central hidroeléctrica, cabe resaltar que la implementación de la arquitectura se realizó utilizando los servicios de Amazon Web Services como prestador de servicios en la nube.

II. DESCRIPCIÓN DE LA PCH

El sistema de captación de agua de la PCH de Amaime - Colombia fue dividido en siete subprocesos, los cuales fueron

agrupados de acuerdo a la funcionalidad que prestan, los cuales son: **A.** Medición de concentración de sólidos suspendidos; **B.** Limpia rejillas de captación; **C.** Operación de compuerta ecológica; **D.** Operación de compuerta radial; **E.** Operación de tanque desarenador 1; **F.** Operación de tanque desarenador 2; y **G.** Limpia rejilla de tanque de carga. En la Fig.1 se muestra una toma aérea del sistema de captación de agua, y se indica la ubicación de cada uno de los siete subprocesos mencionadas anteriormente.

El proceso de captación de agua inicia cuando el agua proveniente del río es desviada por el azud e ingresa por la toma lateral, donde se realiza la medición de concentración de sólidos suspendidos (subproceso A), una vez el agua pasa por las rejillas de captación esta puede contener material orgánico o inorgánico el cual queda atrapado en las rejillas, por lo tanto, se hace necesario la limpieza (subproceso B). El subproceso C hace referencia a la operación de la compuerta ecológica ya que la PCH cuenta con una licencia ambiental, la cual debe garantizar que el caudal ecológico corresponda al 20% del caudal total de río. El subproceso D hace referencia a la operación de la compuerta radial, esta compuerta debe de permanecer cerrada cuando la central está generando y en caso de parada o emergencia se debe hacer uso de ella.

Una vez el agua conducida se divide en el caudal ecológico, el restante entra en el canal de aducción y este la conduce hacia los dos tanques desarenadores, los cuales decantan las partículas de arena en el fondo de estos tanques, por lo tanto, se debe realizar su limpieza cuando el nivel de sedimentos supere un valor establecido (subproceso E y F). Por rebose el agua es conducida hacia el tanque de carga y luego a la tubería de carga en donde se encuentra una rejilla más fina que detiene material que haya podido pasar por los subprocesos anteriores, para la limpieza de esta rejilla se tiene el subproceso G. Además, también en el tanque de carga se realiza la medición de la concentración de sólidos suspendidos que van a ingresar al tanque de carga (subproceso A).



Fig. 1. Subprocesos del sistema de captación de agua.

III. ARQUITECTURA PROPUESTA

La Arquitectura con Orientación a Servicios (SOA) para la tele-operación de los sistemas de captación de agua debe considerar aspectos tales como: el mando a distancia de los actuadores que accionan la apertura y cierre de las compuertas, el control automático y las protecciones del sistema en caso que se presente una eventualidad de tal manera que se garantice la integridad de los elementos involucrados sin dejar a un lado el personal de la planta, las comunidades aguas abajo y el medio ambiente. Además, con la tele-operación se aumenta la eficiencia en el proceso generación, ya que se puede realizar un mayor número de acciones en el menor tiempo posible, esto quiere decir que el operador puede solicitar a los subprocesos que realicen sus actividades de manera simultánea y evaluar el estado de las variables para tomar decisiones en el momento oportuno.

Dicha arquitectura permite el monitoreo permanente de las variables involucradas en el proceso de captación de agua, además del mando a distancia de los actuadores del sistema independientemente del lugar geográfico donde se encuentre ubicado el operador; también permite contar con los datos históricos de las variables y de las operaciones que se han realizado en los sistemas de captación de agua de la PCH para la trazabilidad de los procesos. Además, se incorporan en cada subproceso las alarmas y protecciones que permitan garantizar la seguridad de la planta y su personal.

La SOA presenta ventajas para la tele-operación de los sistemas de captación de agua de una pequeña central hidroeléctrica, debido a que es modular, lo que permite que el sistema sea flexible para realizar modificaciones que respondan de manera rápida y eficiente ante situaciones semejantes. Además, al utilizar servicios web para la implementación de la arquitectura, con tareas únicas y bien definidas se tiene la característica de bajo acoplamiento y tolerancia a fallos, ya que si un servicio deja de funcionar no afecta a los demás, otra característica a resaltar de los servicios web es la utilización de lenguajes estandarizados lo que permite que sea independiente del sistema operativo y/o del lenguaje de programación utilizado, lo que se traduce en un alto grado de interoperabilidad. Todas estas características fueron el punto de partida para el diseño de la arquitectura presentada en la Fig. 2.

La SOA propuesta para la tele-operación del sistema de captación de agua de la PCH de Amaime es la encargada de gerenciar los diferentes servicios involucrados en la operación de los actuadores y el sensado de las variables del sistema. La SOA planteada presenta la novedad que integra el monitoreo, mando, control, alarmas, protecciones y la tele operación de los sistemas de captación de agua de una PCH, lo que permite garantizar la confiabilidad, seguridad y eficiencia en la generación eléctrica.

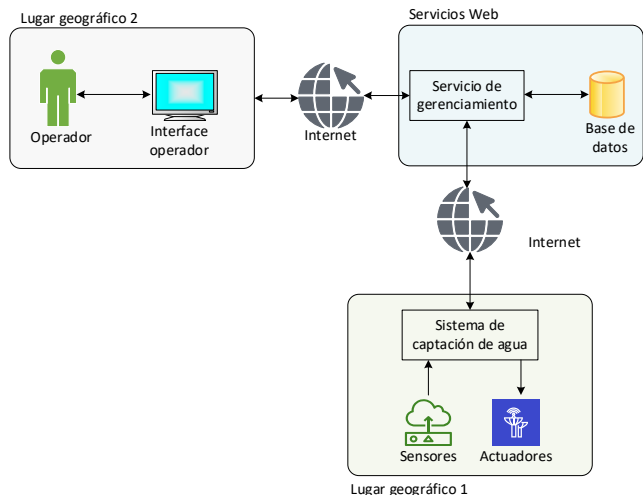


Fig. 2. SOA propuesta para el sistema de captación en una PCH.

En la Fig. 3 se presenta la arquitectura concebida, en la cual se detalla la relación de cada uno de los servicios, es decir, cómo se relacionan sus entradas y sus salidas con los elementos del sistema de captación de agua. Además, se anexan elementos necesarios para brindar seguridad y la base de datos para el almacenamiento de la información. A continuación, se realiza una breve descripción de estos elementos: los *firewalls* que controlan el acceso a la red, lo que se puede traducir en seguridad, la *base de datos* donde se va almacenar toda la información generada por la PCH, el *api gateway* que permite que las aplicaciones puedan obtener acceso a los datos y lógica del negocio desde los servicios web, y por último el *Proxy* que sirve de intermediario entre los sensores y actuadores para que estos realicen peticiones a los servicios web.

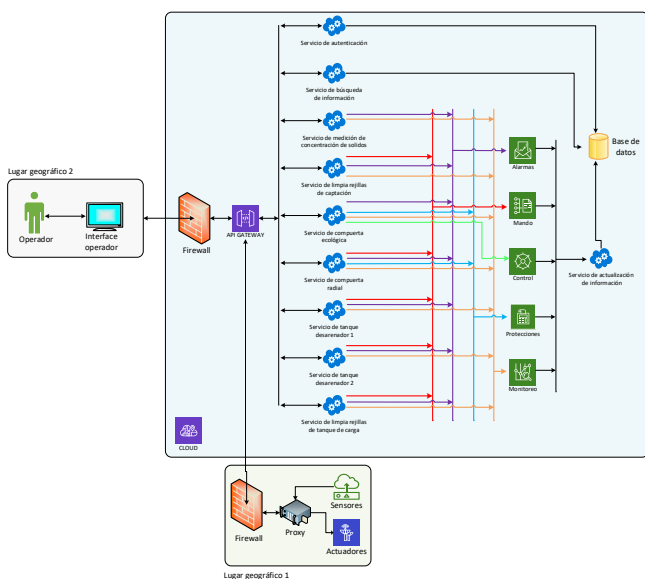


Fig. 3. Arquitectura detallada.

IV. IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA SOA

Para el almacenamiento de la información, tanto de los usuarios como de las mediciones de los sensores, alarmas y eventualidades que se presenten en la central se requiere el uso de una base de datos, ya que el sistema maneja una gran cantidad de datos por segundo, se hace necesario una base de datos de alto rendimiento y además que sea escalable y cuente con mecanismos de respaldo de la información almacenada, en este contexto para la implementación de la base de datos del sistema se hizo uso de la base de datos no relacional Amazon DynamoDB la cual, es una base de datos de clave-valor y documentos que puede gestionar más de 10 billones de solicitudes por día y puede admitir picos de más de 20 millones de solicitudes por segundo [4].

Para el manejo de la información del sistema tele-operado de captación de agua se utilizaron cuatro tablas denominadas: usuarioHidroelectrica, WebSocketConfig, WebSocketData y WebSocketUsers, en las cuales se van a almacenar la información de los usuarios del sistema como *login* y *password*, la configuración de cada uno de los módulos, la información proveniente de los sensores, y por último los roles de los usuarios del sistema “rol operador o rol administrador”.

Para la realización de las interfaces tanto del rol “operador” como del rol “administrador” se utilizó el framework Angular y para la lógica del servidor se hizo uso de Node.js. Cabe resaltar que toda la aplicación está soportada bajo los servidores de Amazon Web Services (AWS) el cual es el mejor prestador de servicios de plataforma e infraestructura en la nube para el año 2021 [5], lo que se traduce en un alto respaldo y disponibilidad del sistema. Para el ingreso a la interface web de tele-operación del sistema de captación de agua de la PCH, el usuario debe hacer uso de un dispositivo con conexión a internet, ya sea un PC o un dispositivo móvil como un teléfono o Tablet, cabe resaltar que las interfaces están desarrolladas con diseño web adaptable (responsive), lo que permite que se ajusten a diferentes tamaños de pantalla. Una vez el usuario ingrese a la url designada, que en este caso es “<http://192.168.18.15/hidroelectrica/auth/login>”, se presenta la interface de autenticación donde el usuario ingresa el *Login* y su respectiva contraseña. En la Fig. 4 se presenta la interface de autenticación de usuario.



Fig. 4. Interface de autenticación.

Una vez el usuario ingresa su *Login* y su respectiva contraseña, como presenta en la Fig. 4, el sistema valida la información ingresada y según el rol que tenga asignado, que en este caso es el rol de administrador, se presenta la interface designada. En la interface del administrador, tiene habilitado la opción de monitorear las variables asociadas a cada uno de los siete módulos del sistema de captación de agua, la teleoperación de los actuadores, la consulta del historial de las variables, alarmas y eventualidades que se lleguen a presentar, además la opción de configuración de los límites de operación de las variables, activación de las alarmas y del módulo.

En la Fig. 5. se presenta la interface del rol de administrador donde se enmarcan las secciones que la conforman.

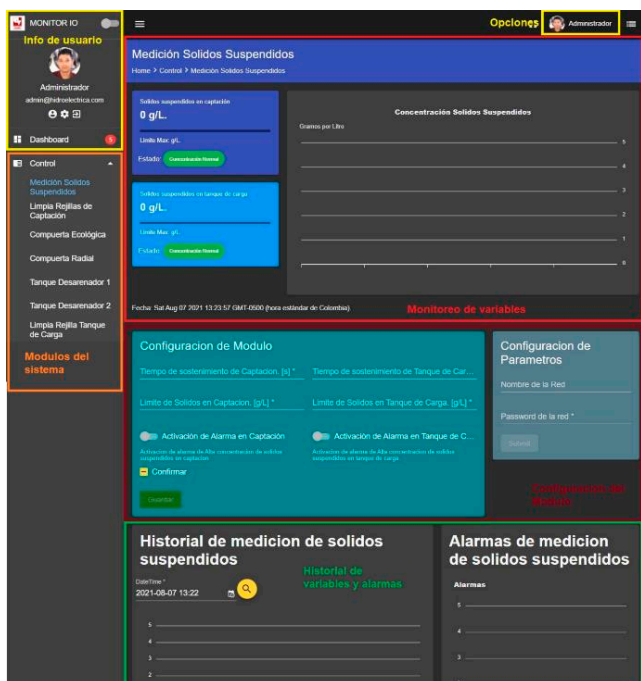


Fig. 5. Interface de administrador.

Como se observa en la Fig. 5. la interface del administrador cuenta con seis secciones las cuales se detallan a continuación: la primera sección denominada “Información de usuario” corresponde al perfil del usuario que se encuentra autenticado ante el sistema, en esta sección se presenta el rol del usuario, el correo con el cual se ha autenticado y la foto de perfil del usuario. En la segunda sección denominada “Opciones del usuario” se encuentran las opciones para modificar información del perfil, tal como la foto de perfil, contraseña y además la opción para finalizar la sesión del usuario. En la tercera sección denominada “Módulos del sistema” se encuentran los siete módulos del sistema de captación de agua de la PCH, en el cual se puede seleccionar el módulo al cual se desea monitorear y tele-operar. En la cuarta sección denominada “Monitoreo de Variables” se presenta el comportamiento de las variables y el estado actual de los actuadores del módulo seleccionado para el monitoreo y tele-operación. En la quinta sección denominada “Historial de variables y alarmas” se presenta la opción de búsqueda por fecha y hora, el histórico del comportamiento de las variables y alarmas que llegue a presentar el módulo. Por último y sexta sección denominada “Configuración del módulo” en la cual, el usuario tiene la posibilidad de configurar los parámetros de operación del módulo seleccionado.

Para efectos prácticos solo se realizó la validación de uno de los siete módulos del sistema de captación de agua, específicamente con el módulo 7 denominado “Módulo de limpia rejillas de tanque de carga”. Una vez el usuario está autenticado, en la sección de monitoreo de la interface se puede observar el estado de la rejilla del sistema de limpia rejilla del tanque de carga, la opción de limpiar la rejilla del tanque de carga, el nivel del agua en el tanque de carga, el nivel de agua en la tubería de carga y además la diferencia de niveles entre el tanque de carga y la tubería de carga. Cabe resaltar que la limpieza de la rejilla se realiza en 5 pasos, los cuales se pueden observar en la interface del usuario. En la Fig. 6 se presenta la sección de monitoreo del módulo de limpia rejilla del tanque de carga.

Para realizar la operación de limpieza de la rejilla del tanque de carga, el operador debe dar inicio al proceso utilizando el botón “iniciar” en la sección de “monitoreo y mando del proceso de limpieza”, una vez se da inicio al proceso se visualiza el paso que se encuentra ejecutado y el estado del proceso, como se puede observar en la Fig. 7.



Fig. 6. Monitoreo del módulo de limpia rejilla del tanque de carga.



Fig. 7. Inicio del proceso de limpieza de la rejilla del tanque de carga.

Como se observa en la Fig. 7, el estado del proceso de limpieza cambia de estar “detenido” a estar “en proceso” y el paso que se está ejecutando es el número uno, el cual hace referencia a abrir rastrillo. Cabe resaltar que la información de los niveles del tanque de carga y tubería de carga son medidos por los sensores de nivel dispuestos en la tarjeta electrónica del módulo 7. Toda la información de las variables medidas es almacenada en la base de datos del sistema como se puede observar en la Fig. 8.

El proceso de limpieza se realiza en 5 pasos, donde el último paso hace referencia a la activación de la banda transportadora, la cual es la encargada de devolver el material orgánico al cauce del río. En la Fig. 9 se puede observar la ejecución del paso 5 del proceso de limpieza.

ID	sortKey	Alarm_A...	Diferenci...	Error_LL...	Mon_U...	Niv_Tan...	Niv_Tub...	Pasos
esp781007	1631651132748	0	0	0	0	12	12	0
esp781007	1631651132257	0	0	0	0	12	12	0
esp781007	1631651131755	0	0	0	0	12	12	0

Fig. 8. Información almacenada en la base de datos del módulo de limpia rejilla del tanque de carga.

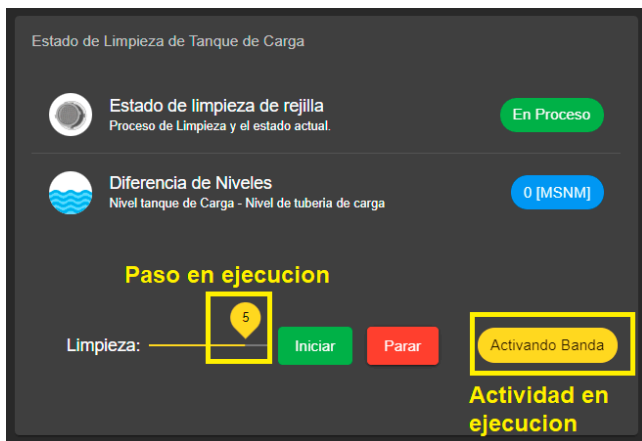


Fig.9. Información almacenada en la base de datos del módulo de limpia rejilla del tanque de carga.

Una vez terminado el paso cinco se da por finalizado el proceso de limpieza de la rejilla del tanque de carga. Para acceder al historial almacenado en la base de datos, solo se debe ingresar la fecha y hora a la cual se desea recuperar la información. En la Fig. 10 se presenta el historial del nivel del tanque de carga, el nivel de la tubería de carga, la alarma del módulo 7 y los pasos realizados por la rejilla en una fecha determinada.

En la Fig. 10 se puede observar las gráficas denominadas “historial de nivel”, en donde se presenta el comportamiento tanto del nivel del tanque de carga como el nivel de la tubería de carga. En la gráfica denominada “histórico de alarmas de alto nivel de sedimentos” muestra el disparo de la alarma de alta concentración de sedimentos en la rejilla de la tubería de carga, cabe resaltar que esta gráfica toma dos posibles valores, donde el valor de 0 hace referencia a que no se ha presentado alarma, y el valor de 1 hace referencia a un disparo de la alarma. Por último, la gráfica denominada “histórico de pasos de limpieza” en la cual se muestra el paso ejecutado en el proceso de limpieza en una determinada fecha y hora, cabe resaltar que cuando se visualiza el paso 0 hace referencia a que no se está ejecutando ningún proceso de limpieza de la rejilla del tanque de carga y se corrobora que el proceso de limpieza es realizado en un total de cinco pasos.

La interface del administrador tiene la posibilidad de modificar los parámetros de operación del módulo de limpia de rejilla del tanque de carga, en este caso se puede habilitar o deshabilitar la alarma de diferencia de nivel del tanque de carga y tubería de carga. El segundo parámetro hace referencia al límite máximo de diferencia entre el nivel del tanque de carga y la tubería de carga. El tercer parámetro es el tiempo en segundos el cual se debe sostener la diferencia de los niveles y, por último, habilitar o deshabilitar el módulo, es decir permitir o no la tele-operación del limpia rejilla del tanque de carga. En la Fig. 11 se presenta la configuración del módulo con una diferencia máxima de niveles de 2 MSNM, tiempo de sostenimiento de diferencia de niveles de 10s, la alarma habilitada y el módulo habilitado.

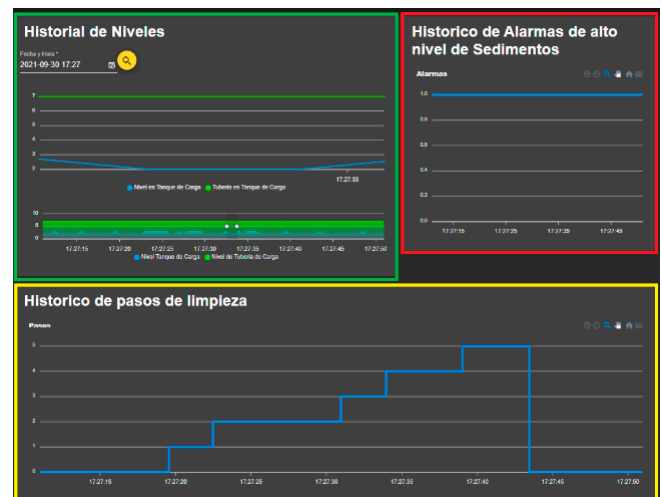


Fig. 10. Historial de limpieza de la rejilla del tanque de carga.

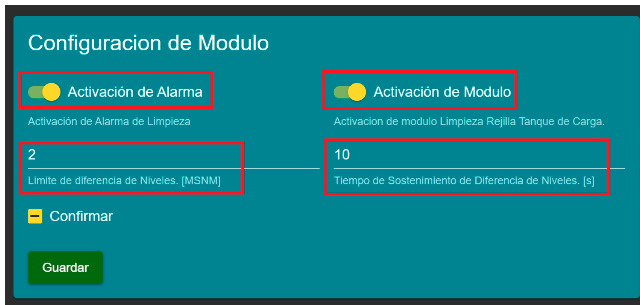


Fig. 11. Configuración del módulo de limpia rejilla del tanque de carga.

La configuración del módulo queda almacenada en la base de datos del sistema como se puede observar en la Fig. 12.

El módulo de limpia rejilla del tanque de carga genera una única alarma, la cual se dispara cuando la diferencia entre el nivel del tanque de carga y la tubería de carga es igual o superior al valor límite de diferencia de niveles configurado en el módulo y además cumpla con la condición del tiempo de sostenimiento configurado. Cabe resaltar que cuando se genera la alarma aparece en rojo el mensaje “Alta sedimentación” como se observa en la Fig. 13. Esta alarma tiene como objetivo indicar al operador que la rejilla del tanque de carga se encuentra con sedimentos, por lo tanto, el operador a su criterio define si realizar o no el proceso de limpieza de la rejilla.

Por otro lado, durante el proceso de limpieza de la rejilla del tanque de carga se puede presentar la eventualidad de un atascamiento mecánico, por lo tanto, el sistema detiene automáticamente el proceso de limpieza con aras de garantizar la seguridad de la central y del personal. En la Fig. 14 se presenta el caso que durante el proceso de limpieza específicamente en el paso 2 se presenta un atascamiento mecánico.

Para reanudar el proceso de limpieza, una vez se haya presentado un atascamiento mecánico del limpia rejilla, es necesario una intervención mecánica la cual haga corrección del atascamiento presentado, ya que el sistema no permite reanudar el proceso en la interface hasta que no se haya solucionado la eventualidad.

Una vez se han implementado y probado los siete módulos del sistema tele-operado del sistema de captación de agua. Se realiza las pruebas de latencia que tiene la base de datos al momento de realizar una consulta, retornar la información de la consulta y actualización de la información. En la Fig. 15 se presentan las métricas de latencia que tiene la base de datos DynamoDB implementada en AWS.

ID	sortKey	Acti_Ala...	Acti_Mo...	Limt_Dif...	Tiemp_Sost_Difer_Niveles
esp7#1007	163165458...	1	1	2	10

Fig.12. Configuración del módulo 7 almacenada en la base de datos.

ID	sortKey	Alarm_A...	Diferenci...	Error_Li...	Mon_Li...	Niv_Tan...	Niv_Tab...	Passo
esp7#1007	1631650817079	1	4	0	0	12	8	0

Fig.13. Alarma del módulo de limpia rejilla del tanque de carga almacenada en la base de datos.

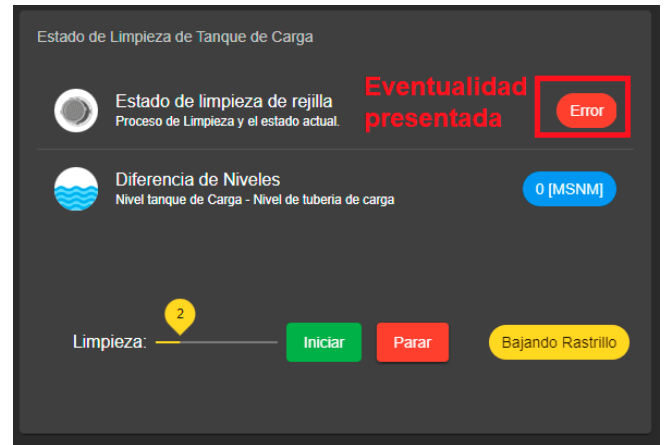


Fig.14. Eventualidad durante la limpieza de la rejilla del tanque de carga.



Fig. 15. Latencia de la base de datos.

Como se puede observar en la Fig.15, la gráfica de color verde hace referencia a la latencia que tiene la base de datos al momento de atender una solicitud de consulta que aproximadamente es de 6ms, por otro lado la gráfica de color naranja hace referencia al tiempo que tarda la base de datos en retornar una respuesta al momento de realizar una consulta la cual es de aproximadamente 315ms, y por último la gráfica de color azul hace referencia al tiempo que tarda la base de datos en almacenar los datos proveniente de los siete módulos del sistema de captación de agua que es de 318ms.

V. RESULTADOS

A continuación, en la Tabla I se presenta una comparativa entre el sistema actual de la pequeña central hidroeléctrica y el sistema propuesto en el desarrollo de esta investigación. Al implementar el sistema propuesto se obtiene una mejora en los tiempos de respuesta del sistema ya que la medición de los sólidos suspendidos es 20 veces más rápida que la medición actual, por otro lado el control de la compuerta ecológica es 131 veces más rápido que el sistema actual trayendo consigo un aumento en la generación eléctrica ya que solo se devuelve al río el caudal necesario estipulado por la entidad reguladora del medio ambiente, a diferencia del sistema actual que en ocasiones se estaba devolviendo al río un porcentaje mayor al estipulado.

TABLA I. COMPARACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL Y EL SISTEMA PROPUESTO.

Proceso	Sistema actual	Sistema propuesto
Medición de concentración de sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> - Medición manual realizada por el fontanero en sitio cada 10 minutos. - El fontanero debe indicar por radio si se presenta una alta concentración de sólidos suspendidos. - El fontanero al realizar esta actividad no puede atender otra solicitud de otro proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Medición automatizada cada 500 ms. - Monitoreo desde la interface grafica del sistema. - Indicador de alta concentración de sólidos suspendidos. - Trazabilidad de la medición debido a que se cuenta con datos históricos.
Limpia rejillas de captación	<ul style="list-style-type: none"> - Operación manual realizada por el fontanero en sitio. - El fontanero al realizar esta actividad no puede atender otra solicitud de otro proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo y teleoperación del limpia rejillas desde la interface grafica del sistema. - Trazabilidad de las actividades de limpieza debido a que se cuenta con datos históricos y alarmas.
Operación de compuerta ecológica	<ul style="list-style-type: none"> - Operación manual realizada por el fontanero en sitio, se evalúa cada 60 minutos el caudal ecológico y se realiza el ajuste correspondiente a la compuerta. - El fontanero al realizar esta actividad no puede atender otra solicitud de otro proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación automatizada, se evalúa cada 0,4571 minutos el caudal ecológico y se realiza el ajuste de la compuerta ecológica. - Monitoreo desde la interface grafica del sistema. - Trazabilidad de la medición del caudal ecológico debido a que se cuenta con datos históricos y alarmas.
Operación de compuerta radial	<ul style="list-style-type: none"> - Operación manual realizada por el fontanero en sitio. - El fontanero al realizar esta actividad no puede atender otra solicitud de otro proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo y teleoperación de la compuerta radial desde la interface grafica del sistema. - Monitoreo de las variables asociadas al sistema hidráulico de apertura y cierre de la compuerta radial. - Trazabilidad de la operación de apertura y cierre de la compuerta radial debido a que se cuenta con datos históricos y alarmas.
Limpieza de tanque desarenador 1 y 2	<ul style="list-style-type: none"> - Operación manual realizada por el fontanero en sitio. - La limpieza depende de la experticia del fontanero. - El fontanero debe estar monitoreando el nivel de sedimento manualmente para determinar si se requiere limpieza del tanque. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo y teleoperación del tanque desarenador desde la interface grafica del sistema. - El sistema genera una alarma cuando el tanque nivel de sedimento del tanque desarenador ha llegado al límite máximo permitido. - Trazabilidad de las actividades de limpieza y monitoreo de niveles de sedimentación, debido a que se cuenta con datos históricos y alarmas.

TABLA I. COMPARACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL Y EL SISTEMA PROPUESTO (CONTINUACIÓN).

Proceso	Sistema actual	Sistema propuesto
Limpia rejilla del tanque de carga	<ul style="list-style-type: none"> - Operación manual realizada por el fontanero en sitio. - El fontanero al realizar esta actividad no puede atender otra solicitud de otro proceso. - La decisión de limpieza es realizada de manera visual por el fontanero. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo y teleoperación del limpia rejillas del tanque de carga desde la interface grafica del sistema. - El sistema genera una alarma cuando la rejilla se encuentra con sedimentos mediante la lectura de los sensores de nivel. - Trazabilidad de las actividades de limpieza y monitoreo de niveles de sedimentación, debido a que se cuenta con datos históricos y alarmas.

En la [Tabla II](#) se presenta los costos aproximados de implementación de la arquitectura propuesta, cabe resaltar que estos costos no tienen en cuenta el valor de los sensores y actuadores requeridos en el sistema ni su instalación.

TABLA III. COSTOS APROXIMADOS DE IMPLEMENTACIÓN.

Ítem	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor Total (USD)
Servidor AWS por mes	12	500	6000
Tarjetas electrónicas para los 7 módulos	7	500	2800
Programación de Tarjetas electrónicas y puesta a punto del sistema	7	700	4900
Configuración de la arquitectura del sistema	7	750	5250
Total			18950

VI. CONCLUSIONES

La estrategia del uso de una base de datos no relacional permite que el alto flujo de almacenamiento de información se realice de una manera rápida, ya que la información se guarda en aproximadamente 318 ms y el retorno de una consulta es de aproximadamente 315ms, esto permite que el sistema tenga una alta respuesta y la información se esté presentado en la interface del usuario con el fin de tomar decisiones en el momento oportuno.

El seguimiento del sistema en cuanto a las actualizaciones de información y registro de eventos en la base de datos y trazabilidad de los datos de cada uno de los siete módulos corresponde de manera correcta al flujo de información y lo planteado en la arquitectura, ya sea en un caso normal de operación o ante alguna eventualidad que se presente en alguno de los siete módulos desarrollados.

La arquitectura implementada al ser una arquitectura modular mediante servicios web donde cada uno de ellos es independiente del otro, si en algún momento se requiere implementar más módulos esto no implica realizar una nueva arquitectura solo adicionar los nuevos módulos a la arquitectura planteada, permitiendo de esta manera un alto grado de escalabilidad. Por otro lado, al usar como prestador de servicio en la nube la infraestructura de AWS el sistema de captación de agua tele operado tiene una disponibilidad de 99.99% esto quiere decir que no deberá superar más de 52.56 minutos fuera de línea en 365 días, lo que me permite una alta disponibilidad y confiabilidad de la arquitectura propuesta.

Con la implementación del sistema se obtiene una mejora en los tiempos de decisión y en la calidad del agua a turbinar, debido a que de manera manual se mide la concentración de sólidos suspendidos cada 10 minutos, con la implementación de la arquitectura se obtiene una medición de la concentración de sólidos suspendidos cada 500 ms, es decir, 20 veces más rápido que con la medición manual. Por otro lado, el control para la compuerta ecológica presenta una mejora considerable en su operación ya que la corrección de la posición de la compuerta se realiza cada 60 minutos actualmente, esto quiere decir que, si se presenta una variación del caudal del río, el sistema manual lo corrige cada hora. Por lo tanto, el sistema propuesto responde solo en 27.427 segundos, es decir, aproximadamente 131 veces más rápido que el actual.

REFERENCIAS

- [1] UPME, "Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050," Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia, p. 184, 2015, [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergético2050.pdf.
- [2] "SIEL - Sistema de Información Eléctrico Colombiano," 2020. [Online]. Available: [http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fGeneraci%u00f3n%2fGeneraci%u00f3n+\(Gerencial\)](http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fGeneraci%u00f3n%2fGeneraci%u00f3n+(Gerencial)). [Accessed: 12-OCT-2021].
- [3] J. A. Camacho and C. D. Chamorro, "Arquitectura con orientación a servicios para sistemas tele-operados de captación de agua para generación hidráulica." *Rev. identidad energética*, vol. 3, no. 2448–7775, pp. 19–25, 2020.
- [4] "AWS | Servicio de base de datos gestionada NoSQL (DynamoDB)." [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/dynamodb/>. [Accessed: 12-OCT-2021].
- [5] "Gartner reconoce a AWS como líder en el cuadrante mágico de servicios de plataforma e infraestructura en la nube." [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/resources/analyst-reports/gartner-mq-cips-2021/>. [Accessed: 12-OCT-2021].

BIOGRAFÍAS



0003-3623-9913.

JOHN ALEXANDER CAMACHO Estudiante de doctorado con énfasis en ingeniería eléctrica y electrónica de la universidad del valle. Msc en ingeniería con énfasis en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Valle 2017, Ingeniero Electrónico de la Universidad del Valle 2014, Tecnólogo Electrónico de la Universidad del Valle 2009. Miembro del Grupo de Investigación DI&ID, Categoría C Colciencias. ORCID iD 0000-



4555.

CRISTIAN DAVID CHAMORRO Doctor en Ingeniería con énfasis en Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle (2017). Magister en Filosofía de la Universidad del Valle (2011). Ingeniero Mecánico de la Universidad Autónoma de Occidente (2001). Profesor Titular del Departamento de Diseño de la Universidad del Valle. Miembro del grupo de investigación DI&ID, Categoría C Colciencias. ORCID: 0000-0002-1792-



NAYIVER GLADYS CAICEDO Doctora en Ingeniería de la Universidad del Valle (2004). Magister en Sistemas de Generación de Energía Eléctrica de la Universidad del Valle (1991). Ingeniera Electricista de la Universidad del Valle (1986). Miembro del Grupo de Investigación GRALTA, reconocido por Colciencias y parte de la Universidad del Valle. ORCID: 0000-0002-8679-7465