

Modernización del Control del Sistema de Limpieza de las rejillas de la Toma de Carga de la Central Hidroeléctrica Agoyán

Klever Aldas, Jackeline Abad Torres, Pablo Angulo

Abstract— En este trabajo se presenta el estudio previo y el diseño de la modernización del control del sistema de limpieza de las rejillas de la toma de carga de la Central Hidroeléctrica Agoyán. Este sistema permite mantener libre el ingreso de agua hacia las turbinas, y está conformado por un pórtico móvil (14,65 Tn) y un sistema de detección de obstrucciones. Para el control y monitoreo del sistema de limpieza de las rejillas se implementó una topología de control centralizada constituida por dos autómatas y un panel táctil conectados a través de una red WLAN.

Index Terms: Hidroeléctricas, HMI, PLC, Redes Inalámbricas, Sensor Inductivo, Sensor de Presión, Sistemas de Control Automático.

I. INTRODUCCIÓN

La central hidroeléctrica Agoyán (CHA) se encuentra en funcionamiento desde el año de 1987, está localizada en la provincia de Tungurahua a 180 Km al Sureste de Quito, cerca de la ciudad de Baños [1]. La CHA aprovecha el caudal del río Pastaza para mover dos turbinas tipo Francis con una potencia total de 156 MW y un caudal máximo turbinado de 60 m³/s por unidad, aportando al sistema nacional interconectado un promedio anual de 998 GWh de energía. El voltaje de generación es 13,8 KV, el cual es elevado a 138 KV por medio de transformadores de potencia para luego ser enviado por dos líneas de transmisión a la Subestación Baños, y por ende al Sistema Nacional Interconectado[2].

El sistema de limpieza de las rejillas de la represa de Hidroagoyán también funciona desde el año 1987 y contaba con tecnología de punta de la época. Cuando se inició este trabajo, el sistema se encontraba funcionando al 30% de su capacidad debido a que los mandos electrónicos de control presentan fallas debido a las condiciones climáticas adversas. Además, los modos de operación automático y semiautomático no estaban habilitados. Este sistema es de alta importancia porque el agua que pasa por la represa Agoyán, y por este sistema, no solo alimenta a las turbinas de *Hidroagoyán* sino también a las de la *Central San Francisco*. Conjuntamente estas centrales hidroeléctricas aportan un 11% de la energía del Sistema Nacional Interconectado [2]. Por tanto, la modernización del sistema de limpieza de rejillas era prioritaria para garantizar el

buen funcionamiento de las centrales hidroeléctricas mencionadas y la producción de energía eléctrica en el país.

En el presente trabajo se presenta la modernización del sistema de control de limpieza de las rejillas de la toma de carga de la CHA, este sistema es el encargado de mantener las rejillas de protección sin obstrucciones para el libre paso de agua en la toma de carga de la represa. El sistema de limpieza de las rejillas está constituido por dos subsistemas: el pórtico limpia rejillas y el sistema de detección de obstrucciones en las rejillas. El primero se encarga de recoger los materiales extraños adheridos en las rejillas, mientras que el segundo se encarga de la detección oportuna de obstrucciones y sobreflujo.

Este documento se encuentra organizado de la siguiente manera: en la Sección II se describe el funcionamiento del sistema antes de la modernización y las características principales que deberá cumplir el diseño. En la Sección III se describe el diseño del control del sistema. Finalmente, en la sección IV se presentan pruebas y resultados del sistema implementado.

II. ESTUDIO PREVIO

La toma de carga de la CHA está formada por tres rejillas (Fig. 1), cada una posee un conjunto de ocho aberturas denominadas paños que impiden el ingreso de basura u objetos grandes, que podrían ocasionar daños en los equipos de generación ubicados en casa de máquinas.

Para evitar una excesiva acumulación de basuras en las rejillas se cuenta con un sistema de limpieza, este sistema tiene una parte móvil y otra fija. La parte móvil del sistema limpieza de las rejillas se conoce como pórtico limpia rejillas, mientras que la parte fija del sistema de limpieza de las rejillas se denomina sistema de detección de obstrucciones en las rejillas. Cabe señalar que la operación del pórtico limpia rejillas se hace diariamente para garantizar el libre flujo de agua hacia las turbinas de la CHA.

A. Pórtico limpia rejillas

El pórtico limpia rejillas (Fig. 2) es una estructura metálica (14,65 Tn) que se desplaza a lo largo de la toma de carga, sobre unos rieles y realiza la limpieza en las rejillas. Este está provisto de un bastidor con un panel de uñas que remueve troncos, maleza, cuerpos de animales y otros objetos grandes adheridos en las rejillas, además está compuesto por dos vigas inferiores y

Este trabajo fue realizado con la colaboración del personal técnico la Central Hidroeléctrica Agoyán.

Autores: Klever Aldas, Ingeniero en Electrónica y Control en Escuela Politécnica Nacional (e-mail: klever.aldas@epn.edu.ec), Jackeline Abad Torres

actualmente es Profesora del Departamento de Automatización y Control Industrial, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional (e-mail: jackeline.abad@epn.edu.ec), Pablo Angulo profesor Jubilado de la Escuela Politécnica Nacional (e-mail: pablo.angulo@epn.edu.ec).

cuatro patas, todas de sección tipo cajón; en su parte superior se dispone de una plataforma donde se alojan los motores eléctricos y los mecanismos de izaje para su funcionamiento. El pórtico también está equipado con lámparas reflectoras para iluminar la zona de trabajo.

La operación del pórtico se la realiza con los siguientes componentes:

- 1) Un sistema de traslación
- 2) Una rampa móvil para maniobrar el carro
- 3) Un carro limpia rejillas para recoger la basura
- 4) Una cabina de comando

La operación del pórtico limpia rejillas se controla por medio de un tablero de control que tiene varias opciones: modo manual, modo semiautomático y modo automático. En modo manual el operador activa manualmente los mecanismos del pórtico, mientras que en modo semiautomático la limpieza de las rejillas se realiza a una sección de cuatro rejillas mediante un botón disponible en el tablero de control. En la operación automática del pórtico se realiza la limpieza de una sección de ocho paños (una reja) en las cuales se detecta que existen basuras acumuladas, esta funcionalidad se activa a través de una orden de operación del sistema de detección de obstrucciones en las rejillas. Para el efecto se dispone de un sistema de cañerías mediante el cual se envía aire comprimido a ambos lados de la rejilla, y mediante sensores de presión se establece un diferencial que indica una "pérdida de carga", esto activa el modo de operación automático del pórtico.

Originalmente, el pórtico limpia rejillas solo funcionaba en modo manual; el modo semiautomático y automático del sistema no se encontraban operativos debido a: 1) las condiciones de los sensores inductivos para el posicionamiento del pórtico, los cuales no pudieron reemplazarse al ser obsoletos, y 2) el sistema de detección de obstrucciones estaba deshabilitado debido a que los componentes electrónicos con los que opera este sistema estaban deteriorados por las condiciones climáticas.



Fig. 1. Pórtico Limpia rejillas y Toma de carga de la Central Agoyán (fotografía tomada en un lavado de embalse).

B. Sistema de detección de obstrucciones en las rejillas

Este sistema se encuentra instalado en el sector de las rejillas de la bocatoma (Fig. 1), y permite detectar obstrucciones en las

rejillas o sobreflujo en el túnel de carga mediante la medición de presión diferencial. La presión diferencial, medida usando el

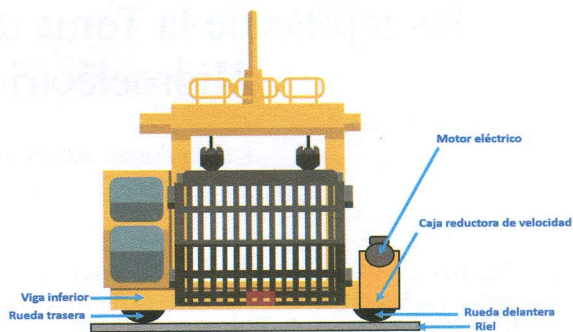


Fig. 2. Partes del Pórtico limpia rejillas de la toma de carga de la central Agoyán.

método de burbujeo [3], debe variar dentro de un rango determinado, de otro modo emite señales de *rejillas obstruidas* o *sobreflujo*. Para este fin se compara la presión aguas arriba de y aguas abajo de la reja. En el caso de rejillas semiobstruidas la presión aguas abajo de la reja, debe ser 20% menor a la presión aguas arriba de la reja; mientras en el caso de rejillas obstruidas la presión aguas abajo de la reja, debe ser 40% menor a la presión aguas arriba de la misma. En la Fig. 3 se indica el diagrama de bloques del sistema de detección de obstrucciones en las rejillas.

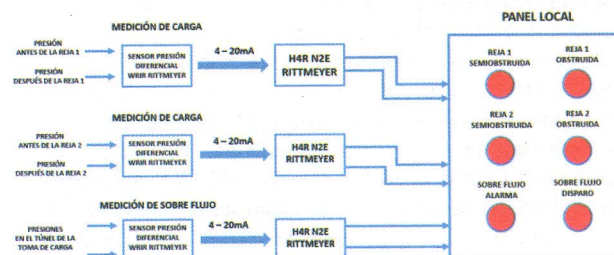


Fig. 3. Diagrama de bloques del sistema de detección de obstrucciones en las rejillas.

El sistema de detección de obstrucciones en las rejillas se encontraba fuera de servicio debido a que las tarjetas electrónicas con las que operan los sensores de presión presentan fallas por deterioro propio del tiempo de servicio. Estas no pudieron ser reemplazadas debido a que ya no existen el mercado.

Con el fin de contar un sistema completamente funcional y moderno, no solo se analizó el funcionamiento que debe tener este sistema, sino que también se realizó entrevistas al personal encargado del manejo de este para definir las prestaciones y requerimientos del equipamiento a incorporar en el nuevo control del sistema. Para el pórtico limpia rejillas se propuso diseñar un nuevo sistema de mando y control para 3 modos de operación (manual, semiautomático y automático), incorporando equipos y dispositivos de tecnología actual. Un PLC constituirá la unidad central de control y un panel táctil ubicado en la cabina de mando permitirá la operación del

pórtico.

En el sistema de detección de obstrucciones se propuso reemplazar las tarjetas electrónicas, por un sistema constituido por un PLC y sensores para la medición de presión diferencial, lo cual permitirá la detección de una obstrucción en las rejillas. Las señales de reja obstruida y sobre flujo se enviarán al PLC del pórtico limpia rejillas, para su visualización en un interfaz hombre-máquina (IHM). Este sistema mantendrá comunicación constante con el sistema de control del pórtico limpia rejillas, con la finalidad de compartir datos que permitan mejorar la limpieza de las rejillas.

Además, el sistema de detección de obstrucciones funcionará independientemente al pórtico limpia rejillas, para que en caso de falla, el pórtico limpia rejillas pueda funcionar en modo de operación manual y semiautomático.

III. DISEÑO DEL CONTROL DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE LAS REJILLAS

Este trabajo se enfoca en la modernización del control del sistema de limpieza de las rejillas de la toma de carga de la CHA. Una vez estudiado el estado actual del sistema (Sección II), se propone que el sistema cuente con lo siguiente:

- Sistema de detección de obstrucciones en las rejillas completamente funcional.
- Códigos de programación del control manual del pórtico limpia rejillas mejorados.
- Modos de operación semiautomática y automática del pórtico limpia rejillas completamente funcionales.
- Interfaz gráfica para el control y monitoreo del pórtico limpia rejillas y sistema de detección de obstrucción.
- Sistema de comunicación entre los dos subsistemas.
- Sistema de control que permita el trabajo en conjunto de los dos subsistemas, manteniendo la independencia entre ambos en caso de fallas.

En la Fig. 4 se muestra el diagrama de bloques con el cual se cubrió todos los requerimientos propuestos para la modernización.

El sistema como un todo funciona de la siguiente manera:

- El subsistema del pórtico limpia rejillas mantiene comunicación constante con el subsistema de detección de obstrucciones.
- En modo manual, el operador puede activar cada mecanismo (ver Tabla VIII) individualmente.
- En modo semiautomático, la limpieza de todas las rejillas se realiza mediante una orden enviada por el operador.
- En modo automático se realiza la limpieza de únicamente aquellas rejillas en las cuales el sistema detección de obstrucciones ha detectado una diferencia de presión que indique que existe basuras adheridas en las mismas.

A. Pórtico Limpia Rejas

Para el control de este subsistema se utilizará un PLC, que de acuerdo a las variables del proceso deberá contar con al menos 24 entradas digitales, 16 salidas digitales y una entrada analógica para el control de posición del carro limpia rejillas. En las tablas I y II se detallan el uso de cada una de las entradas y

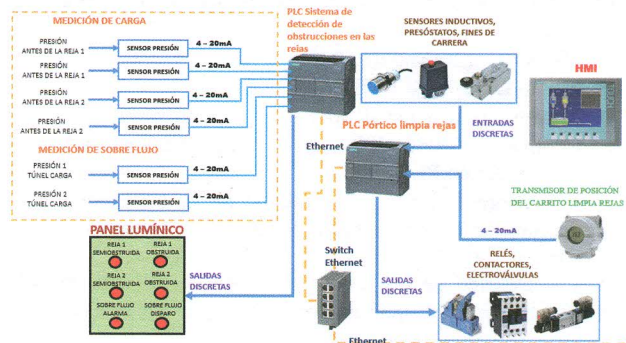


Fig. 4. Diagrama de bloques del pórtico limpia rejillas y del sistema de verificación de obstrucciones.

salidas de acuerdo a las necesidades del sistema. Considerando esto, y la disponibilidad de equipos en las bodegas de la CHA, se escogió el PLC S7 1200 CPU 1214C AC/DC/Rly de la familia Simatic [4]; entre las características principales que ofrece se destacan las siguientes:

- Memoria de trabajo de 100 KB
- Memoria de carga 4 MB
- Memoria remanente 10 KB
- Conexión PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC
- I/O integradas; hasta 3 módulos de comunicación para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación I/O.

TABLA I. ENTRADAS DIGITALES DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL DEL PÓRTICO LIMPIA REJAS.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Finales de carrera	9
Presostatos	4
Estado de Térmicos de motores	3
Limitador de esfuerzo de sobrecarga	1
Cable flojo	1
Sensores inductivos	5
Protección rampa móvil	1
TOTAL	24

TABLA II. SALIDAS DIGITALES DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL DEL PÓRTICO LIMPIA REJAS.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Motores	12
Compresor	1
Lámparas	1
Electroválvulas	2
TOTAL	16

B. Sistema de detección de obstrucciones en las rejillas

Para el control de este subsistema se utilizará un PLC que cuente con un mínimo de 6 entradas digitales, 6 entradas analógicas y 8 salidas digitales. En las tablas III, IV y V se detallan el uso de cada una de las entradas y salidas de acuerdo a las necesidades del sistema. Considerando esto, y la disponibilidad de equipos en las bodegas de la CHA, se escogió el PLC S7 1200 CPU 1212C DC/DC/Rly [5]; entre las

principales características de este equipo se enumeran las siguientes:

- Memoria de trabajo de 50 KB
- Memoria de carga 1 MB
- Memoria remanente 10 KB
- Conexión PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC
- I/O integradas; hasta 2 módulos de comunicación para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación I/O.

Para la elección de los sensores de presión, se determinó la presión hidrostática ejercida por la columna del líquido en el embalse, usando la ecuación (1).

$$P = \delta \times g \times h, \tag{1}$$

siendo:

P : Presión hidrostática.

δ : Densidad del fluido.

g : Aceleración de la gravedad.

h : Altura de la superficie del fluido

Con la altura en el umbral de las rejas 14 m [1], densidad del agua y la gravedad ($\delta = 1000 \frac{Kg}{m^3}$ [3], $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ [3]), se tiene que la presión hidrostática en estas condiciones sería 19,89 psi. Por este motivo y considerando los equipos disponibles en las bodegas la CHA, se eligió el sensor de presión P220 de Siemens, el cual tiene un rango de medición de 0 a 150 PSI.

TABLA III. ENTRADAS DIGITALES DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL DEL PÓRTICO LIMPIA REJAS.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Mando de arranque del compresor	1
Mando de parada del compresor	1
Presóstato de arranque del compresor	1
Térmico	1
Selector operación Manual/Automático	1
Mando de prueba de lámparas	1
TOTAL	6

TABLA IV. ENTRADAS ANALÓGICAS DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL DEL PÓRTICO LIMPIA REJAS.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Presiones aguas arriba de la reja	2
Presiones aguas arriba de la reja	2
Presiones en el túnel de carga	2
TOTAL	6

TABLA V. SALIDAS DIGITALES DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL DEL PÓRTICO LIMPIA REJAS.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Compresor	1
Luces indicadoras	7
TOTAL	8

C. Proceso de limpieza de un paño

La Fig. 6 muestra el diagrama de flujo para la activación secuencial de los mecanismos para la limpieza de una reja. Este proceso se realiza en cada una de las tres funcionalidades del pórtico limpia rejas (manual, semiautomático y automático).

La traslación y correcta ubicación del pórtico frente a un paño se efectúa mediante el uso de 5 sensores inductivos [7] de proximidad que pasan sobre 12 zonas de detección. En la figura 7 se muestra el panel de sensores inductivos y las zonas de detección.

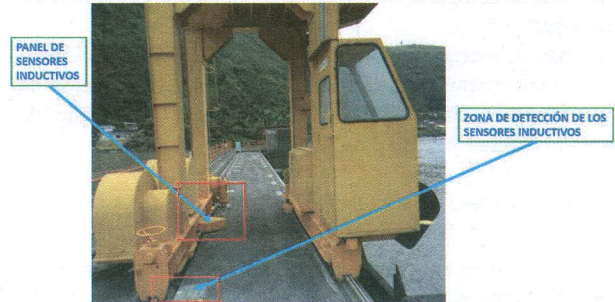


Fig. 5. Panel de sensores inductivos y las zonas de detección.

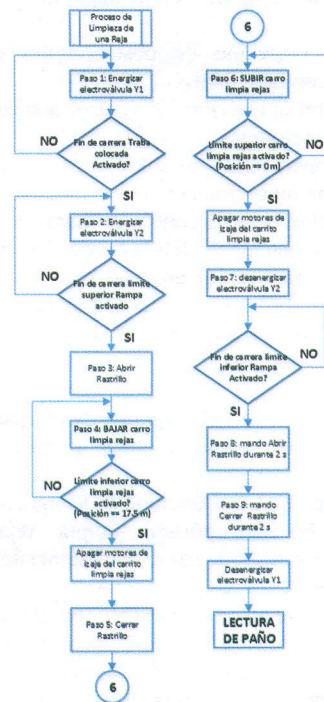


Fig. 6. Diagrama de flujo para la activación secuencial de los mecanismos para la limpieza de una reja.

Las zonas de detección son placas metálicas codificadas que se encuentran sobre la loza de la bocatoma (figuras 5 y 7). Al pasar

sobre ellas, los sensores generan un valor binario que es interpretado por el PLC del sistema.

IV. DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN

El nuevo sistema de control cuenta con varios elementos que se encuentran enlazados en una red de área local wireless (WLAN), se considera este tipo de red puesto que los equipos están ubicados en un perímetro menor a 100m y que el PLC del pórtico limpia rejillas se mueve con este. La Fig. 8 muestra los equipos que constituyen la red LAN.

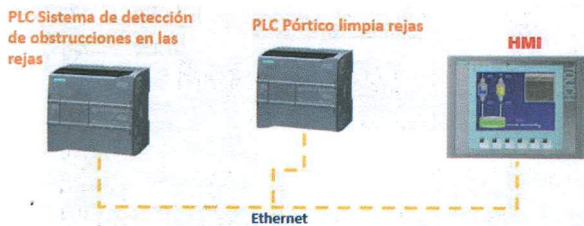


Fig. 8. Red LAN del nuevo sistema de control del Sistema de limpieza de las rejillas.

En esta red el PLC del sistema de detección de obstrucciones funciona como servidor, mientras que el PLC del pórtico limpia rejillas y la HMI TP 1500 Comfort actúan como clientes.

Para establecer la conexión entre los dispositivos estos deben encontrarse en la misma red. A cada equipo se le asigna una dirección IP y una máscara de subred. Las direcciones IP dependen del tipo de red, en este caso se va a diseñar una red LAN, por lo que las IP deben estar en el mismo rango de red con el fin de que el equipo terminal acceda a cada uno de los dispositivos que conforman la LAN. De esta manera, se establece la asignación de direcciones IP, como se indica en la Tabla VI.

TABLA VI. DIRECCIONES IP DE LOS EQUIPOS DE LA RED LAN.

Equipo	Dirección IP	Máscara de Subred
PLC Pórtico limpia rejillas	192.168.0.3	255.255.255.0
PLC Detección Obstrucciones en las rejillas (Pérdida de carga)	192.168.0.4	
HMI	192.168.0.2	

A. Interfaz Humano Maquina (IHM)

La IHM permite al operador monitorear y controlar un proceso ya sea de una manera local o remota. Para el desarrollo del proyecto se utilizó la pantalla TP1500 Comfort de Siemens [6].

A efectos de facilitar el manejo de la IHM, el diseño de las pantallas se realizó tomando ciertos requisitos solicitados por el personal encargado, y otros que permiten al operador una fácil

adaptación a esta tecnología. Las características principales para la interfaz son:

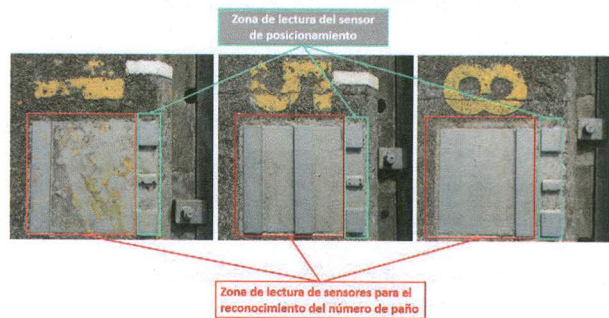


Fig. 7. Zona de detección de los sensores inductivos, para los paños 1,5 y 8.

- Diseño simple y estético.
- Orden lógico de las pantallas.
- Correcto etiquetado de todos los objetos en la pantalla.
- Visualización del estado de los mecanismos del sistema y fallas del sistema.
- Visualización de un listado de alarmas para posible detección de fallas del sistema.
- Visualización del estado de las rejillas.
- Utilización el código de colores del estado de los objetos del sistema (rojo para objeto en funcionamiento y verde para objeto en reposo)

La estructura de la IHM, se conforma de varias pantallas, las cuales presentan distintas opciones para el control y monitoreo del proceso, en la Fig. 9 se presenta la estructura del funcionamiento de la Interfaz.

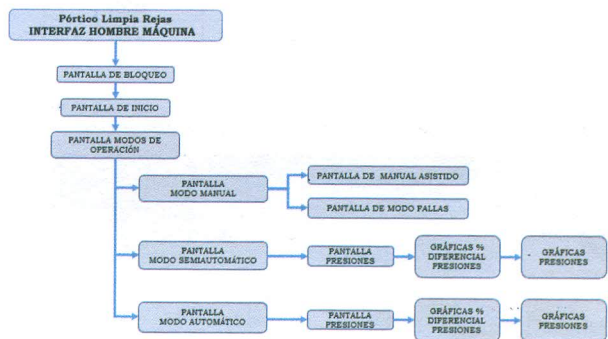


Fig. 9. Estructura de la IHM del Pórtico limpia rejillas

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de funcionamiento del control implementado (manual, semiautomático y automático), y se analiza la información obtenida. En la Tabla 7 se muestran los resultados de la operación manual del Pórtico limpia rejillas.

TABLA VII. OPERACION MANUAL DEL PORTICO LIMPIA REJAS

MECANISMOS DEL SISTEMA	¿Cumple condiciones previas para activación de los mecanismos?
Motores de traslación	SI
Accionamiento de la traba mecánica	SI
Accionamiento de la rampa móvil	SI
Apertura o cierre del rastrillo	SI
Movimiento del carro limpia rejass	SI
Operación del compresor	SI

En las siguientes tablas se indican los resultados para modo de funcionamiento automático y semiautomático.

TABLA VIII. OPERACIÓN SEMIAUTOMATICA DEL PORTICO LIMPIA REJAS.

OPERACIÓN DEL PÓRTICO EN MODO SEMIAUTOMÁTICO		
	PROCESO	RESULTADO
1	Ubicación correcta en el centro del paño	BIEN
2	Activación de traba mecánica	BIEN
3	Activación de rampa móvil	BIEN
4	Activación del rastrillo	BIEN
5	Descenso del carro limpia rejass hasta que se active el fin de carrera de límite inferior izaje principal	BIEN
6	Cierre del rastrillo en el paso 5	BIEN
7	Ascenso del carro limpia rejass hasta que se active el fin de carrera de límite superior izaje principal	BIEN
8	Bajar rampa móvil	BIEN
9	Apertura del rastrillo	BIEN
10	Cierre del rastrillo en el paso 9	BIEN
11	Sacar traba mecánica	BIEN
12	Avanzar al siguiente paño y empezar con el paso 1	BIEN

TABLA IX. OPERACIÓN AUTOMATICA DEL PORTICO LIMPIA REJAS.

ALARMAS					REPETICIÓN	
REJA 2 OBS ¹	REJA 2 SO	REJA 3 OBS	REJA 3 SO	OPERACIÓN		
ON		ON		LIMPIEZA DE TODAS LAS REJAS	2	BIEN
	ON		ON	LIMPIEZA DE TODAS LAS REJAS	2	BIEN
ON				LIMPIEZA DE REJA 2	2	BIEN
	ON			LIMPIEZA DE REJA 2	2	BIEN
		ON		LIMPIEZA DE REJA 3	2	BIEN
			ON	LIMPIEZA DE REJA 3	2	BIEN

¹ En la Tabla IX, OBS y SO corresponde a reja obstruida y reja semiobstruida respectivamente.

A. Interfaz Humano Máquina (IHM)

La interfaz implementada en WinCC mediante las cuales se puede controlar el pórtico limpia rejass en forma manual, semiautomática y automática se muestra en las siguientes figuras.

En la Fig. 10, se observa la IHM para el control manual del pórtico limpia rejass, en ella se encuentran los botones de accionamiento de cada mecanismo del sistema.

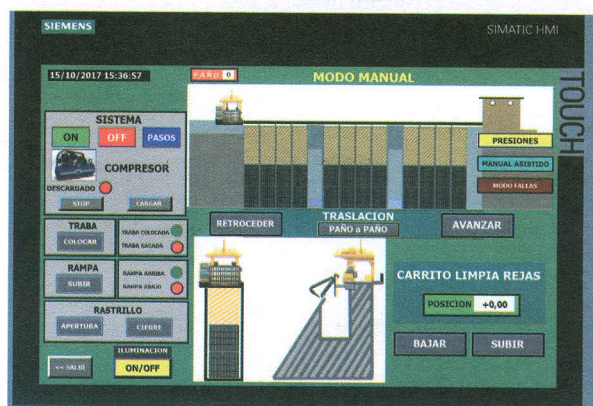


Fig. 10. Interfaz de usuario para el control manual del Pórtico limpia rejass.

En la Fig. 11, se observa la IHM para el control semiautomático del pórtico limpia rejass, en ella se encuentran los botones para el inicio de operación semiautomática.

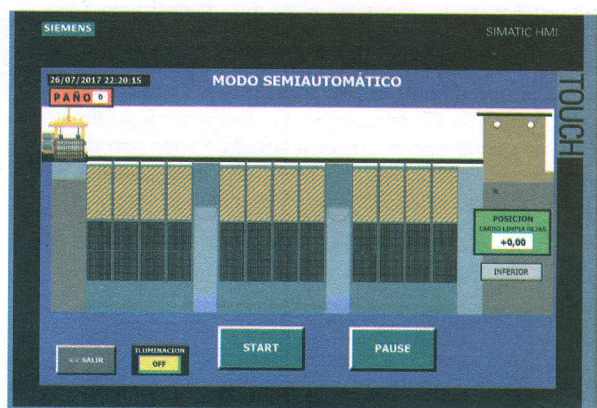


Fig. 11. Interfaz de usuario para el control semiautomático del Pórtico limpia rejass.

En la Fig. 12, se observa la IHM para el control automático del pórtico limpia rejass, en ella se encuentran el estado de las rejass y los botones para el inicio de operación automática.

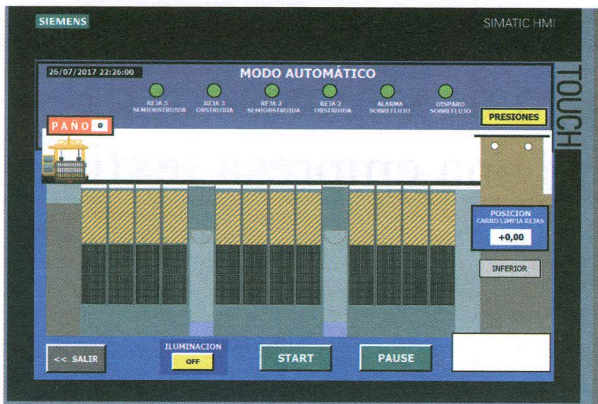


Fig. 12. Interfaz de usuario para el control automático del Pórtico limpia rejás.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se estudió el funcionamiento de un sistema de limpieza de las rejillas de una bocatoma de una represa, la factibilidad de su modernización y su posterior diseño para la Central Hidroeléctrica Agoyán. El sistema está constituido por el pórtico limpia rejás y el sistema de detección de obstrucciones en las rejás conectados a una red WLAN.

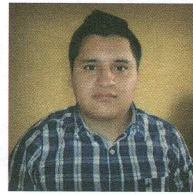
El pórtico limpia rejás se encarga de recoger los materiales extraños adheridos en las rejás, mientras que el sistema de detección de obstrucciones en las rejás envía las señales de rejás obstruidas para la operación automática del mismo. Para la operación del pórtico limpia rejás se cuenta con un panel táctil ubicado en la cabina del pórtico, que permite operar al mismo en tres modos de operación: manual, semiautomático y automático. El sistema de detección de obstrucciones en las rejás está constituido por un PLC y sensores para la medición de presión aguas arriba y presión aguas abajo de la reja, los cuales permiten la detección de una obstrucción en las rejás.

El sistema diseñado permite aprovechar los equipos mecánicos que aún eran funcionales en el sistema a la vez que moderniza el control del mismo, y permite no solo una comunicación entre los subsistemas, sino que debido a los equipos utilizados se puede a futuro conectarlo al Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC) de la Central Agoyán. Se debe notar que la modernización de un sistema que forma parte de la infraestructura de la generación eléctrica del país, permite que este a largo plazo tenga una mayor confiabilidad debido al decremento de paros forzados para mantenimiento correctivo.

Bibliografía

[1] TRASINCA-CONSULT, "Informe Final Central Hidroeléctrica Agoyán", Agosto de 1987, pp. 2, 54.
 [2] CELEC EP, "Informe de rendición de cuentas", 2016, pp. 10, 12, 5. [En línea]. Available: <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/informe2015/>
 [3] A. C. Solé, "Instrumentación industrial," Marcombo, 2012.
 [4] SIEMENS, "Hoja de datos CPU 6ES7214-1BG40-0XB0," 2017. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com>
 [5] SIEMENS, "Hoja de datos CPU 6ES7212-1HE31-0XB0," 2017. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com>
 [6] SIEMENS, "Hoja de datos TP 1500 Comfort 6AV2124-0QC02-0AX0," 2017. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/>.
 [7] Automation, TURCK Industrial, "Technical Information Inductive sensor BI10-M30-AP6X," 2017. [En línea]. Available: <https://www.pepperl-fuchs.com>.

[8] SIEMENS, "Hoja de datos CPU 6ES7214-1BG40-0XB0," 2017. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com>.



Klever Aldás Mejía, nació en Pelileo-Ecuador el 5 de Julio de 1989. Realizó sus estudios secundarios en el colegio Bolívar-Ambato, graduándose de Físico Matemático. Obtuvo su título universitario como Ingeniero en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Actualmente es Técnico de Mantenimiento en Optimovilidad Sistema de Movilidad Inteligente.

Áreas de interés: Domótica, Redes Industriales, automatización y control industrial. (klever.aldas@epn.edu.ec)



Jackeline Abad Torres (M'15) obtuvo la Ingeniería de Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, y el M.S. y Ph.D. en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Estatal de Washington, Pullman. Tuvo una beca Fulbright en 2010. Actualmente es Profesora titular del Departamento de

Automatización y Control Industrial, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Áreas de interés: análisis estructural y el diseño de controladores de redes dinámicas con aplicaciones para redes de sensores / vehículos, control de epidemias y control de redes de sistemas de potencia. (jackeline.abad@epn.edu.ec)



Pablo Angulo Sánchez, nació en Quito-Ecuador el 1 de Marzo de 1955. Realizó sus estudios universitarios en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el grado de Ingeniero Eléctrico. Actualmente es docente jubilado del Departamento de Automatización y Control Industrial, Facultad de

Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Áreas de interés: Redes Industriales, automatización y control industrial. (pablo.angulo@epn.edu.ec)