

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“Sistema automatizado para mejorar el control de
limpiarejillas en represa hidroelectrica”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

ELABORADA POR:

Bach. Damián Quiroz José Alberto

Bach. Rojas Roque Humberto Miguel

ASESOR:

Ing. Segura Altamirano Segundo Francisco

ORCID: 0000-0002-0103-7222

LAMBAYEQUE 2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD
DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS ESCUELA
PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“Sistema automatizado para mejorar el control de
limpiarejillas en represa hidroelectrica”**

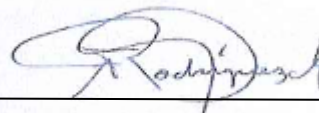
TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

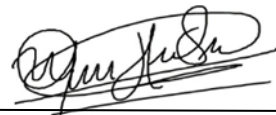
JURADOS



Ing. Ramírez Castro Manuel Javier
Presidente



M.Sc. Ing. Rodríguez Chirinos Frank Richard
Secretario



M.Sc. Ing. Reyes Vásquez Wilson Dennis
Vocal

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DECANATO
Ciudad Universitaria - Lambayeque



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N° 032-2022-D/FACFyM

Siendo las 11:00 am del día 30 de setiembre del 2022, se reunieron vía plataforma virtual,

<https://meet.google.com/nvw-vefg-uzc> los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

"SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL CONTROL DE LIMPIAREJILLAS EN REPRESA HIDROELÉCTRICA"

Designados por Resolución N° 455-2021-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 16 de julio del 2021.

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro	Presidente
M.Sc. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos	Secretario
M.Sc. Ing. Wilson Dennis Reyes Vásquez	Vocal

La tesis fue asesorada por el Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano, nombrado por Resolución N° 455-2021-VIRTUAL -D/FACFyM de fecha 16 de julio de 2021 y su MODIFICATORIA la Resolución N° 295-2022-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 24 de marzo de 2022.

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 805-2022-VIRTUAL-D/FACFyM de fecha 19 de setiembre de 2022.

La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: Rojas Roque Humberto Miguel y Damian Quiroz José Alberto y tuvo una duración de 60 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de 17 (Diecisiete) en la escala vigesimal, mención Bueno.

Por lo que quedan aptos para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:10 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
Presidente

M.Sc. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos
Secretario

M.Sc. Ing. Wilson Dennis Reyes Vásquez
Vocal

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
Asesor

ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Segundo Francisco Segura Altamirano, usuario revisor del documento titulado **SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL CONTROL DE LIMPIAREJILLAS EN REPRESA** . Cuyo autor es, **Bach. Damián Quiroz José Alberto y Bach. Rojas Roque Humberto Miguel**, Identificado con Documento de Identidad 09922587; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **11 %**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 05 de abril de 2022



SEGUNDO FRANCISCO SEGURA ALTAMIRANO
DNI: 09922587

Asesor

(Precisar si es docente, asesor, docente investigador, administrativo u otro)

Se adjunta:

*Resumen de Reporte automatizado de similitudes

*Recibo Digital

DEDICATORIA

Dedicada con un profundo agradecimiento y admiración a mis padres y abuelos por todo su apoyo para darme una formación profesional, por su comprensión y sacrificios en cada etapa de mi vida personal y académica; por su ejemplo de persistencia, dedicación, honestidad, respeto y por toda la formación integral que me brindaron. A mis hermanas, por su apoyo y ejemplo de superación. Porque somos el reflejo del esfuerzo y dedicación de nuestros padres, para ofrecernos la oportunidad de tener una formación profesional. A mi esposa jenmhy, por escucharme, aconsejarme y apoyarme en momentos difíciles durante todo el proceso de este trabajo. A todas aquellas personas que directamente o indirectamente colaboraron para que culminara este proyecto.

Damián Quiroz José Alberto

A Dios por haberme permitido llegar a este crecimiento profesional, por las oportunidades que me brindo en la vida y por rodearme de personas que me apoyan en mis metas y en mi día a día. A mis padres José y Nancy, a mi hermano Ronal, quienes me brindaron el apoyo incondicional, la motivación, sus consejos y valores inculcados, pero más que nada, por su amor. A mis seres queridos que hoy no se encuentran conmigo, especialmente a mi abuela Eloísa Valeriano quien estará inmensamente feliz de mis logros alcanzados. Y aquellos que ayudaron directa o indirectamente a realizar este documento.

Rojas Roque Humberto Miguel

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios que me ha permitido llegar hasta aquí y que me ha acompañado en toda mi carrera de estudiante y me acompañará en adelante. Este logro alcanzado no sería posible sin un arduo y continuo aporte de personas que han estado conmigo en todas las situaciones y que me han ofrecido su apoyo y su cariño desinteresado; es por esto que quiero agradecer a mis padres, abuelos, esposa jenmhy, mi hijo samuel y mis hermanas que son muy importantes en mi vida. Además, mi amigo y compañero de tesis con el que he compartido muchas buenas experiencias y a mis profesores que me brindaron sus conocimientos para mi formación como profesional. A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y FACFyM por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. MUCHAS GRACIAS Y BENDICIONES.

Damián Quiroz José Alberto

Agradezco a Dios por la vida que eligió para mí y por todas las personas que hay en ella. A mi padre José Rojas por haberme mostrado la perseverancia para salir adelante y ser mi modelo de integridad. A mi madre Nancy Roque por haberme motivado y ser mi ejemplo de bondad en la vida. A mi hermano Ronal Rojas por el apoyo incondicional y el ser alguien de admiración. A mi novia Camila Villanueva por su amor y el soporte que ella representa. A mi prima y a su esposo, Esther Vilela y Johnny Jiménez por el apoyo brindado.

Rojas Roque Humberto Miguel

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
I. DISEÑO TEÓRICO.....	6
1.1. Antecedentes	6
1.1.1. Internacionales.....	6
1.1.2. Nacionales	7
1.2. Bases teóricas	8
1.2.1. Central hidroeléctrica	8
1.2.2. Limpiarejillas.....	9
1.2.3. Automatización industrial.....	12
II. MÉTODOS Y MATERIALES	16
2.1. Tipo y diseño de la investigación.....	16
2.2. Definición y operacionalización de variables	16
2.3. Población y muestra	16
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
2.5. Método de análisis de datos	17
2.6. Diseño del sistema automatizado	17
2.6.1. Selección del sistema de control.....	17
2.6.2. Selección del PLC	19
2.6.3. Selección del arrancador.....	21
2.6.4. Implementación, lista de señales, programación de PLC y diseño de HMI.....	25
III. RESULTADOS.....	26
IV. CONCLUSIONES	35
V. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS	37
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de bocatoma Huaura y presa Checras.....	1
Figura 2 Partes del limpiarejillas.....	2
Figura 3 Compuertas.....	2
Figura 4 Mal posicionamiento del limpiarejillas.....	3
Figura 5 Control manual del limpiarejillas.....	4
Figura 6 Central hidroeléctrica.....	9
Figura 7 Limpiarejillas rotatorio.....	10
Figura 8 Limpiarejillas de cadena.....	11
Figura 9 Limpiarejillas hidráulico.....	11
Figura 10 Limpiarejillas mixto.....	12
Figura 11 Robótica y automatización.....	15
Figura 12 Diagrama de bloques del sistema de control secuencial.....	18
Figura 13 PLC y HMI para el prototipo.....	21
Figura 14 Funciones de un arrancador según Norma IEC 947.....	22
Figura 15 Tablero de control y motor del pórtico.....	23
Figura 16 VFD para el prototipo.....	25
Figura 17 Pórtico en la posición inicial.....	26
Figura 18 Rastrillo en posición superior y garra abierta.....	27
Figura 19 Rastrillo en posición inferior y garra abierta.....	28
Figura 20 Rastrillo en posición inferior y garra cerrada.....	29
Figura 21 Rastrillo en posición superior y garra cerrada.....	30
Figura 22 Rastrillo en posición superior, garra cerrada y plataforma abierta.....	31
Figura 23 Rastrillo en posición superior, garra abierta y plataforma cerrada.....	32
Figura 24 Rastrillo en posición superior, garra abierta y plataforma abierta.....	33
Figura 25 Pórtico en posición media y final.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Definición y operacionalización de variables.....	16
Tabla 2	Secuencia de control del limpiarejillas.....	18
Tabla 3	Tipo de señales del limpiarejillas.....	18
Tabla 4	Criterios para selección de PLC.....	19
Tabla 5	Problemas del arranque directo.....	23
Tabla 6	Criterios para la selección del nuevo arrancador.....	24

RESUMEN

El limpiarejillas de la presa Huaura se utiliza para recoger basura de tres compuertas y está basado en una estructura que se desliza horizontalmente a través de rieles. El sistema de control solo funciona de manera local controlado por operarios a través de botoneras ubicadas a nivel del suelo y en la parte superior del limpiarejillas. Un problema frecuente en el funcionamiento del limpiarejillas se debe al error humano debido a que el operario realiza mal la secuencia de control y la garra se engancha con la compuerta. Otro problema es causado por el arrancador (arranque directo) de los motores que desplazan al limpiarejilla. Este arrancador no logra posicionar adecuadamente el limpiarejillas y genera elevados picos de corriente. Para solucionar esta problemática realizó un sistema automatizado basado en PLC, HMI y VFD. El algoritmo de control del PLC fue diseñado para controlar de forma secuencial y ordenada el funcionamiento del limpiarejillas, mientras que el VFD se empleó para regular la velocidad del motor a 20 RPM y posicionar la estructura correctamente. Habiendo realizado el algoritmo de control en el PLC y determinando la velocidad adecuada para el variador de frecuencia se procedió a implementar un prototipo. Finalmente, las pruebas experimentales demostraron que el prototipo realizó la secuencia de funcionamiento automática sin problemas y el posicionamiento de la estructura en las tres posiciones se realizó con mucha exactitud. De esta manera se demostró que el sistema automatizado propuesto mejora el control del limpiarejillas.

Palabras Clave: Automatización, PLC, HMI, VFD, Limpiarejillas

ABSTRACT

The Huaaura Dam scraper is used to collect trash from three gates and It is based on a structure that slides horizontally through rails. The system control only works locally and is controlled by operators through buttons located at ground level and on the scraper. A frequent problem in the operation of the rack cleaner is due to human error due to the operator performing an incorrect control sequence and the claw engaging with the gate. Another problem is caused by the motors starter (direct start) that moves the rack cleaner. This starter it fails to position the rack cleaner properly and generates high current peaks. For solving this problem in an automated system based on PLC, HMI, and VFD. The PLC control algorithm was designed to sequentially and orderly control the operation of the rack cleaner. At the same time, the VFD was used to regulate the engine's speed at 20 RPM and position the structure correctly. Having performed the algorithm control in the PLC and determining the appropriate speed for the frequency inverter is proceeded to implement a prototype. Finally, experimental tests showed that the prototype performed the automatic operation sequence without problems and the Positioning of the structure in the three positions was carried out with great accuracy. This way it was launched that the proposed automated system improves the control of the scraper.

Key words: Automation, PLC, HMI, VFD, Grid Cleaner

INTRODUCCIÓN

La Central Hidroeléctrica Cheves se ubica en el río Huaura entre las localidades de Sayán y Churín. La central hidroeléctrica capta las aguas de los ríos Huaura y Checras aguas arriba a una altitud de 2170 msnm, conduce el agua por un túnel hasta las turbinas para luego devolver las aguas al río Huaura a través de un túnel de descarga a unos 11.5 km aguas abajo de la entrada y a una elevación de 1545 msnm. La Central Hidroeléctrica Cheves tiene una capacidad instalada de 170 MW dividida en dos turbinas Pelton utilizando el salto bruto de 602 m (la cámara de carga se encuentra a 2 158 msnm y el centro de turbina a 1 556 msnm).

Figura 1

Ubicación de bocatoma Huaura y presa Checras



Fuente: Google Maps.

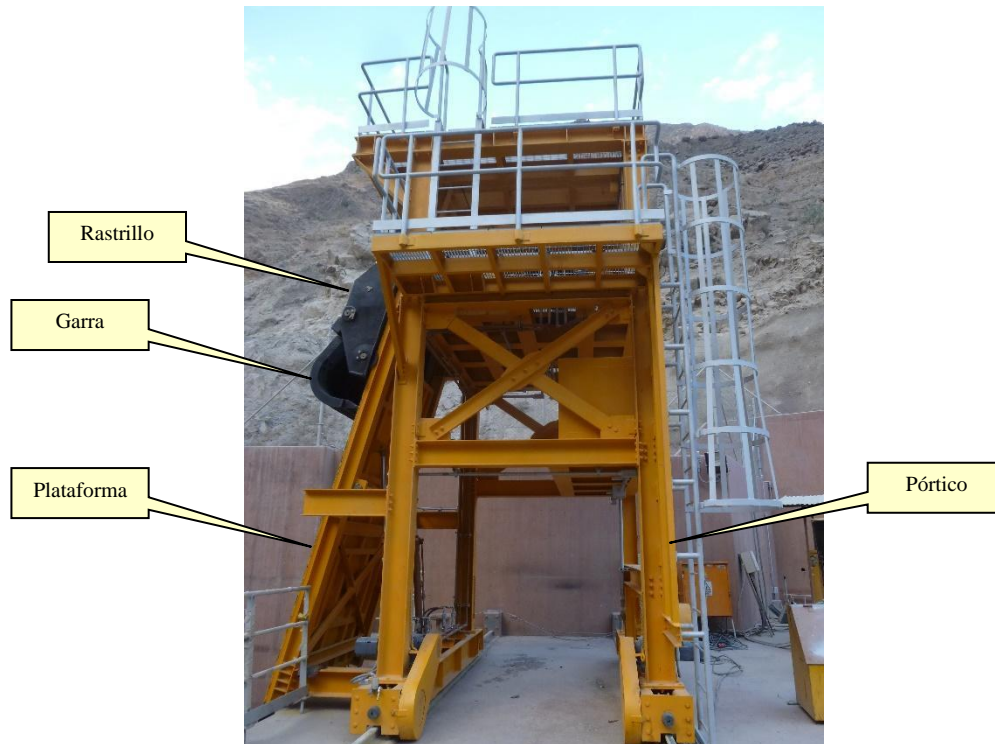
El sistema de control del limpiarejillas de la presa Huaura se utiliza para recoger basura de tres compuertas y está basado en una estructura que se desliza a través de rieles. Este sistema solo funciona de manera local controlado por operarios a través de botoneras ubicadas a nivel del suelo y en la parte superior del limpiarejillas. La estructura del limpiarejilla tiene una altura de 6 m y está formada por lo siguiente:

- Pórtico: realiza movimientos de izquierda a derecha.
- Rastrillo: realiza movimientos de arriba abajo.

- Garra: abre y cierra.
- Plataforma: abre y cierra.

Figura 2

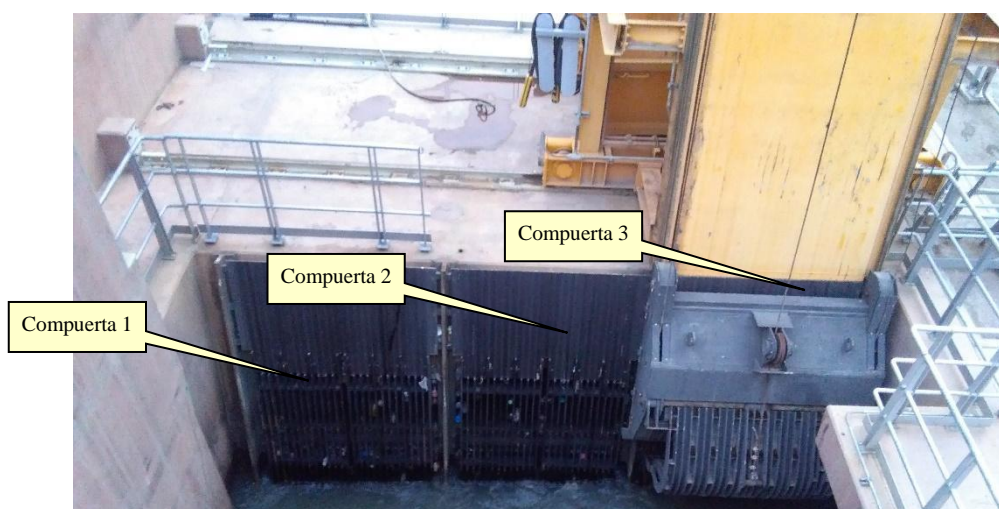
Partes del limpiarejillas



Fuente: Central Hidroeléctrica Cheves.

Figura 3

Compuertas



Fuente: Central Hidroeléctrica Cheves.

Como se ha mencionado antes, el pórtico del limpiarejillas se desliza horizontalmente por el piso a través de unos rieles controlado por dos motores con arranque directo. Este tipo de control genera elevados picos de corriente y caídas de tensión, además, para posicionar adecuadamente el limpiarejillas, el operador activa y desactiva el motor para lograr la posición adecuada provocando picos de corriente constantemente. Sin embargo, al cortar la energía del motor, este sigue girando por inercia, lo cual no permite posicionar correctamente la estructura y obstruye el deslizamiento del rastrillo, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Mal posicionamiento del limpiarejillas



Fuente: Central Hidroeléctrica Cheves.

Otro problema frecuente en el funcionamiento del limpiarejillas se debe al error humano. Las fallas por error humano suelen suceder cuando el operario realiza mal la secuencia de control y la garra se engancha con la compuerta, lo cual produce choques y fallas mecánicas que desestabilizan la estructura.

Figura 5

Control manual del limpiarejillas



Fuente: Central Hidroeléctrica Cheves.

Luego de conocer los problemas causados por el control manual del limpiarejillas se ha formulado el siguiente problema de investigación ¿De qué manera un sistema de control automatizado puede mejorar la operación del limpiarejillas de la presa Huaura? Los problemas específicos planteados fueron los siguientes: ¿Cómo realizar la secuencia de funcionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura de forma automática?, ¿Cómo mejorar el posicionamiento

del limpiarejillas de la presa Huaura? y ¿De qué manera se puede probar el buen funcionamiento del sistema automatizado?

Asimismo, el objetivo general de la investigación fue implementar un prototipo de un sistema automatizado para realizar la secuencia de funcionamiento de forma automática y mejorar el posicionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura. Los objetivos específicos establecidos fueron los siguientes: realizar la secuencia de funcionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura de forma automática mediante la programación de un algoritmo de control en un PLC, mejorar el posicionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura a través de un arrancador basado en un variador de frecuencia y demostrar el buen funcionamiento del sistema automatizado mediante la implementación de un prototipo.

La hipótesis general de esta investigación es que con un sistema automatizado se puede realizar la secuencia de funcionamiento de forma automática y mejorar el posicionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura. Las hipótesis específicas fueron las siguientes: con un algoritmo de control en un PLC se puede realizar la secuencia de funcionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura de forma automática, con un arrancador basado en un variador de frecuencia se puede mejorar el posicionamiento del limpiarejillas de la presa Huaura y con la implementación de un prototipo se puede demostrar el buen funcionamiento del sistema automatizado.

I. DISEÑO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

En Mejía (2017) se desarrolló un proyecto de investigación cuyo objetivo fue modernizar el sistema de control de limpieza de las rejillas de la toma de carga de la central hidroeléctrica Agoyán, las cuales permiten que el flujo de agua ingrese a la toma de carga de la central. Este sistema de control, a su vez, está formado por dos subsistemas: el pórtico limpiarejillas y el sistema de detección de obstrucciones en las rejillas. El primero se ocupa de recoger los materiales estancados en las rejillas y el segundo envía señales cuando las rejillas están obstruidas y cuando hay sobre flujo. Finalmente, el nuevo sistema de detección de obstrucciones en las rejas fue implementado en un PLC S7 - 1200 de Siemens con sensores para medir la presión aguas arriba y aguas abajo de la rejilla utilizando el método de burbujeo, mientras que para controlar la posición del pórtico en el centro se utilizó la estrategia de control del tipo ON-OFF, este PLC obtiene una señal desde el sensor final de carrera de posicionamiento cuando la estructura pasa sobre la zona de detección y capta los pulsos que le que el pórtico está posicionado en el centro. Además, para la arquitectura de red, el PLC del sistema de detección de obstrucciones cumplió el rol de servidor Modbus TCP y los clientes fueron el PLC del pórtico limpia rejas y la HMI TP 1500 Comfort. Esta solución logró mejorar la operatividad del sistema, pues ahora la limpieza de las rejillas solo se realiza cuando se detecta una pérdida de carga importante.

En Boloño y Polo (2001) se diseñó un sistema de limpieza en la bocatoma de la Estación de Bombeo de Aguas Residuales PARAÍSO de la Empresa Aguas de Cartagena (ACUACAR). Los investigadores lograron elaborar el sistema mecánico para la limpieza de la rejilla de acceso a la bocatoma, en conjunto con el sistema de transmisión de potencia, el sistema de control semiautomático, el sistema eléctrico, el sistema de transporte de sólidos atrapados por la

máquina, elaboraron el manual de mantenimiento y operación de los equipos para su óptimo funcionamiento y cuidado, realizaron un análisis de costos de inversión y finalmente elaboraron los planos de montaje. Esta solución logró que disminuyeran los costos de mantenimiento y operación de los equipos de la hidroeléctrica.

1.1.2. Nacionales

En Jarata (2018) realizó el diseño y simulación de un sistema automatizado para una máquina seleccionadora de la empresa INNOVA S.R.L. que consta de un tambor concéntrico, escobillas de impurezas, paletas, acoples para ejes, tolva de entrada y salida y motores para la selección de quinua en cuatro tipos de calidad de grano: extra grandes, grandes, medianos, pequeños y salida de impurezas. El sistema de simulación planteado por el investigador fue del tipo secuencial (abrir, cerrar, subir, bajar, etc.), fue implementado con el software Studio 5000 y con un PLC Allen Bradley CompactLogix utilizando lenguaje Ladder (programación para procesos secuenciales). De acuerdo al investigador, esta solución permitió mejorar la producción y la calidad de quinua, así como la reducción de costos de producción en tiempo y dinero.

En Paredes (2014) se diseñó e implementó un módulo demostrativo de control por variadores de velocidad para sistemas de presión constante multibombas. El investigador diseñó el sistema multibombas para que funcione de dos modos: el control de motor por bomba principal controlada y auxiliares en directo; y control del motor principal y auxiliares por variadores de velocidad ABB enlazados por comunicación serial Modbus RTU. Para cumplir su objetivo, el autor diseñó el circuito de fuerza y de control con base en los diagramas recomendados por el fabricante, luego realizó la selección de equipos e instrumentos para el módulo demostrativo, por último, se configuró el variador de frecuencia con una nueva macro de aplicación que combina los dos modos de control multibombas. Finalmente, en las pruebas realizadas, el módulo demostrativo respondió correctamente antes los fallos simulados y acató las órdenes y

comandos de comunicación serial del variador maestro de la red Modbus RTU logrando un control óptimo de las bombas.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Central hidroeléctrica

Según EPEC (2018) una central hidroeléctrica es aquella que se encarga de la transformación de la energía cinética aprovechada de los grandes cauces de agua que se obtienen de los ríos y la convierte en energía eléctrica. Para realizar este proceso la central hidroeléctrica utiliza turbinas hidráulicas conectadas al mismo eje del generador.

De acuerdo con Redondo (2018) el primer elemento que interviene en el funcionamiento de una central hidroeléctrica es la presa, la cual se encarga de acumular el agua proveniente de un río con la finalidad de formar un embalse. Con ello el agua se carga de energía potencial que posteriormente se transformará en energía eléctrica. Para ello la presa debe ubicarse en un nivel alto, además cuenta con una válvula que regula el paso del agua hacia las turbinas. Todo ese caudal es trasladado mediante una tubería forzada, la cual aumenta la presión haciendo que se transforme la energía potencial en energía cinética. Al llegar a las turbinas, estas convierten la energía cinética en energía mecánica de rotación, por último, el eje de la turbina está adherido a un generador eléctrico, el cual convierte la energía mecánica en energía eléctrica alterna. Una vez terminado el proceso, el río sigue su curso.

Según Vásquez y Villanueva (2020) las principales ventajas de las centrales hidroeléctricas son las siguientes: no necesitan algún combustible para su funcionamiento, no contaminan, sirven de suministro de agua a los lugares colindantes, ofrece protección contra inundaciones, presenta un costo bajo en mantenimiento, además las turbinas hidráulicas ofrecen un control y mantenimiento sencillo. Por otro lado, los inconvenientes que presentan son los siguientes: elevado costo por kilovatio e infraestructura, además las condiciones del clima afectan la generación de energía.

Oviedo (2018) indica que la generación de electricidad de manera hidráulica siempre se ha considerado como una opción de energía limpia. No obstante, se podrían señalar diferentes efectos ambientales causados por la construcción de una central hidroeléctrica. Oviedo refiere que podemos considerar que modifica el territorio, cambia el ciclo vital de los animales, alterna la navegación por los ríos como también el transporte de sedimentos y nutrientes, disminuye el caudal natural de los ríos e incluso puede incrementar la creación de fitoplancton reduciendo el nivel de oxígeno en el agua. Es por ello que, para evitar estos efectos causados al medio ambiente, se debe realizar una evaluación de todos estos problemas y plantear medidas correctivas.

Figura 6

Central hidroeléctrica



Fuente: <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-hidroelectrica>

1.2.2. Limpiarejillas

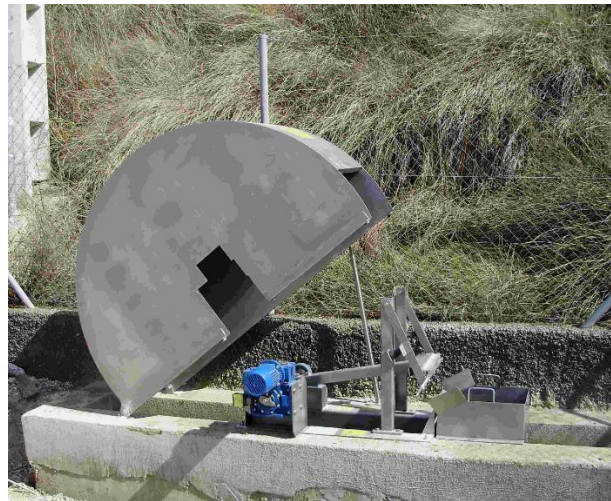
De acuerdo con Victoriano (2021) los limpiarejillas se usan normalmente para proteger las máquinas de bombeo, para el tratamiento de aguas residuales, canales, desalinizadores, potabilizadores, cauces y demás proyectos hidráulicos donde se necesite filtrar o separar componentes sólidos del agua, para finalmente extraer dichos componentes de manera automática.

Trevi (2020) afirma que los tipos de limpiarejilla son los siguientes: rotatorio, de cadenas, hidráulico y mixto.

De acuerdo con Victoriano (2021) el limpiarejillas rotatorio es ideal para canales situados en pequeñas plantas automatizadas completamente, el residuo sólido extraído se deposita en un recipiente el cual presenta un fondo perforado. Los rangos de filtración oscilan entre 40 mm y 2 mm.

Figura 7

Limpiarejillas rotatorio



Fuente: <http://www.nocheydia.net/productos/limpiarrejas/>

Por otro lado, en Hidrometálica (2020) se indica que los limpiarejillas de cadena presentan un diseño compacto el cual le permita implementarse para la mayoría de canales, aunque presenta ciertos límites de anchura la cual es de 2 metros máximo y en cuanto a la profundidad de 4 m máximo, con respecto a los rangos de filtración oscilan de 8 mm a 50 mm. Su estructura la conforman un conjunto de peines los cuales realizan la limpieza de residuos sólidos, depositándolos en puntos de descarga, contenedores o cualquier equipo de deshidratación o compactación.

Figura 8

Limpiarejillas de cadena



Fuente: <http://www.noheydia.net/productos/limpiarrejas/>

De acuerdo con Oxysan (2020) el limpiarejillas hidráulico está diseñado con un sistema tipo rastrillo, implementa brazos telescópicos y cuenta con doble cilindro hidráulico comandado por joystick, por lo cual es la mejor opción con respecto a otros modelos debido a sus prestaciones. La instalación puede realizarse sobre canales con límites de 3 m de anchura y 5 m de profundidad. Presenta rangos de filtración de 10 mm y 80 mm. Además dispone de sistemas de seguridad que permite fijar cargas máximas por ciclo de trabajo, permite el desplazamiento a lo largo de la reja de filtro.

Figura 9

Limpiarejillas hidráulico



Fuente: <http://www.noheydia.net/productos/limpiarrejas/>

Finalmente Victoriano (2021) indica que hay otro tipo de limpiarejillas que también cuenta con buena aceptación en el sector, este combina el sistema de peines para la limpieza, el sistema de cadena para la elevación y descenso como también el sistema con cilindro hidráulico para la aproximación y separación; comúnmente se instala en canales que requieren mayores prestaciones en seguridad y rendimiento comparado con el sistema de cadenas, puede diseñarse para profundidades de hasta 7 m y hasta 3 m de anchura.

Figura 10

Limpiarejillas mixto



Fuente: <http://www.nochedia.net/productos/limpiarrejas/>

1.2.3. Automatización industrial

Según EDS Robotics (2020) la automatización industrial permite la aplicación de tecnología tanto de software como hardware para la ejecución de procesos de selección, control y producción realizados de manera autónoma, lo cual conlleva a que el personal humano tenga la mínima participación en estos procesos. Estos sistemas automatizados tienen como objetivo controlar tareas mecánicas, las cuales requieren de mucho esfuerzo además de un gran número de personal, estas se realizan de manera eficaz, sin interrupciones y disminuyendo en gran medida los errores. Con las nuevas tecnologías se podría automatizar toda una línea de

procesos. Asimismo, Rodal (2020) indica que se podrían tomar dos entornos distintos en donde se podría implementar la automatización industrial: Tenemos a los entornos operativos (OT) donde se realizan trabajos de manufactura; y los entornos de información (IT) enfocados en computadoras y softwares. Al hablar de automatización industrial para entornos IT, actualmente se está utilizando la tecnología de Automatización de Procesos Robóticos (RPA), la cual busca reemplazar labores realizadas de forma manual por labores automatizadas sin necesidad de cambios en el proceso. Últimamente la automatización no solo se está enfocando en procesos de producción, sino que también está incursionando en la logística dentro de la fábrica utilizando Robots Móviles Autónomos (AMR) para llevar mercancía de un lugar a otro. En un sistema automatizado se pueden encontrar dos partes: Una parte netamente operativa que abarca componentes que ayudan al robot a realizar una tarea, tal es el caso de sensores, actuadores, servomecanismos, sistemas de visión artificial, pistones hidráulicos o neumáticos, entre otros. Con respecto a la otra parte, esta se enfoca en el control completo del sistema utilizando autómatas programables, APIS o controladores lógicos.

Si bien no existe una solución general de automatización para todas las empresas debido a que presentan variedades en los niveles de cada una de ellas, pero se debe tomar en cuenta que habrá un tipo de automatización que se adecúa a las necesidades de los procesos industriales.

- Automatización fija: Este tipo es ampliamente usado en procesos donde las piezas son iguales, esto quiere decir que la automatización fija no permite construir un nuevo diseño particular, sino que produce la misma pieza en grandes cantidades. El importe para la instalación de este sistema es bajo, pero presenta limitaciones cuando se quiere adecuar otra línea de producción para un producto diferente (Automatización, 2020).
- Automatización programable: Este tipo de sistema es recomendable cuando se presenta un bajo volumen de producción. Se puede reajustar o reconfigurar el hardware y el

software del equipo si en caso se quisiera un nuevo diseño en la línea de producción. (Underwood, 2018).

- Automatización flexible: Este tipo de automatización es una combinación de la automatización programable y fija, la cual se utiliza generalmente para volúmenes medianos de producción, los ajustes se ejecutan de manera periódica teniendo planificadas las reconfiguraciones al inicio de cada proyecto (Groover, 2013).

Purdue Global (2020) afirma que la automatización industrial es fundamental en el desarrollo de las empresas que tienen una producción a gran escala. Al no tomarla en cuenta las empresas podrían no mejorar en su proceso de producción y quedar relegadas por la competencia. En la actualidad la gran mayoría de empresas son conscientes de ello, es por eso que transforman sus procesos con la finalidad de avanzar, no obstante, los cambios que presentan son parte de un proyecto continuo. Muchas empresas piensan que el nivel de automatización dentro de sus procesos es suficiente, sin embargo, no lo es. Esta transformación industrial no es un proceso finito, más bien es un proceso continuo que se puede adaptar a las diferentes variaciones en el futuro. Por lo que, este proceso seguirá evolucionando, siendo así que hay un gran cambio para que la que se utilice en el futuro no tenga ninguna similitud con la actual.

Conforme pase el tiempo los sistemas de automatización industrial serán más especializados y complicados y evolucionan muy rápido. Siendo así que a corto plazo aquellos procesos que no sean sistemas automatizados, sí lo serán. O aquellos que estén automatizados actualmente mejoren a un nivel más de automatismo. Con ello se eliminaría parte de los empleos que elaboran los productos, por lo que se necesitaría menos personal en el proceso de producción, dando como resultado menores gastos y así invertir en mayor tecnología para la automatización industrial (Cabello, 2020). A parte de tener menos gastos en personal, las empresas que cuenten con sistemas automatizados contarán con mejores opciones para aumentar su producción. Es conocido que el nivel de precisión será mucho mejor a futuro, por lo que tendrán menos errores

y mayor especialización de su línea. Por otro lado, tanto el flujo de trabajo como los procesos de producción sufrirán cambios a medida que aumente el grado de automatización. Es por ello que será necesario que la plantilla pueda adaptarse a la evolución sin disminuir el rendimiento en la producción. Este hecho puede afectar de mayor manera a las empresas pequeñas. En las empresas más grandes no será tan notorio ese cambio en la producción (LAC, 2020).

Por tanto, las empresas más pequeñas deben presentar mayor agilidad, porque los numerosos beneficios que les otorgarán los sistemas automatizados son muy importantes, mayor velocidad, mayor capacidad en el proceso de producción, una buena fiabilidad y menor gasto a futuro.

Figura 11

Robótica y automatización



Fuente: <https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/103503-auge-robotica-automatizacion-alemana>

II. MÉTODOS Y MATERIALES

2.1. Tipo y diseño de la investigación

Esta investigación es del tipo aplicada tecnológica con un enfoque explicativo y diseño experimental.

2.2. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1

Definición y operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Sistema automatizado (Independiente)	Se refiere a una máquina o sistema que realiza total o parcialmente un proceso sin intervención humana.	Lógica de control	Lectura de sensores y activación de actuadores	Se realizará mediante PLC y VFD
		Configuración del arrancador	Regulación de velocidad	
Control de limpiarejillas (Dependiente)	Se refiere a un conjunto de acciones que permiten movilizar el limpiarejillas y sus componentes.	Control automático	Secuencia (subir, bajar, abrir, cerrar, etc.)	Se realizará mediante PLC y VFD
		Posicionamiento	Regulación de velocidad	

2.3. Población y muestra

La población la Central Hidroeléctrica Cheves y la muestra la presa Huaura.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó una búsqueda de artículos científicos para recolectar información sobre sistemas automatizados basados PLC y HMI, para conocer el funcionamiento de sensores y actuadores discretos y cómo realizar la configuración de variadores de frecuencia. Para las pruebas experimentales con el prototipo se emplearon sensores fotoeléctricos y finales de carrera para detectar la posición del pórtico, la ubicación del rastrillo (superior o inferior), el estado de la garra (abierta o cerrada) y el estado de la plataforma (abierta o cerrada). De acuerdo a la lectura de los sensores fotoeléctricos se pudo conocer el estado del limpiarejillas en todo momento.

2.5. Método de análisis de datos

Las lecturas de los sensores fotoeléctricos y finales de carrera fueron procesadas por el PLC para determinar qué acciones del control secuencial programado debían ejecutarse. En las pruebas experimentales el estado de los sensores y actuadores se pudo analizar mediante la conexión online al software EcoStruxure Machine Expert - Basic desde dónde se realizó el mapeo de las entradas y salidas del sistema automatizado.

2.6. Diseño del sistema automatizado

2.6.1. Selección del sistema de control

Mandado et al. (2009) afirma que para seleccionar el sistema de control en un proceso industrial se debe realizar la identificación de los tipos de señales con las que se va a trabajar. Las variables involucradas en un proceso industrial pueden ser de dos tipos:

- Señales discretas, digitales o binarias: Presentan sólo dos valores diferentes a lo largo del tiempo, por ello también se les denomina digitales.
- Señales analógicas o continuas: Estas pueden tomar cualquier valor determinado por ciertos límites, además la información que transmiten la llevan en su amplitud.

Por consiguiente, si la planta que se desea controlar presenta señales analógicas, esta será continua y si utiliza señales binarias, será discreta. La misma configuración sería para el controlador si utiliza señales analógicas será continuo y si trabaja con señales binarias será discreto. En tanto si se trabaja con la planta y el controlador discretos, el sistema será de control secuencial, y si la planta y el controlador son continuos, será un sistema de control regulatorio (Brunete et al., 2020).

Ahora debemos definir si la planta, es decir, el limpiarejillas, utiliza señales discretas o analógicas. Para ello, recordemos que la función de cada elemento del limpiarejillas es la que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Secuencia de control del limpiarejillas

ELEMENTO	FUNCIÓN
Pórtico	Se desliza horizontalmente (derecha e izquierda)
Rastrillo	Sube y baja para trasladar a la garra
Garra	Abre y cierra para recoger basura
Compuerta	Abre y cierra para echar la basura al contenedor

Conociendo la secuencia podemos determinar el tipo y valor de las señales que se necesitan para controlar el limpiarejillas como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

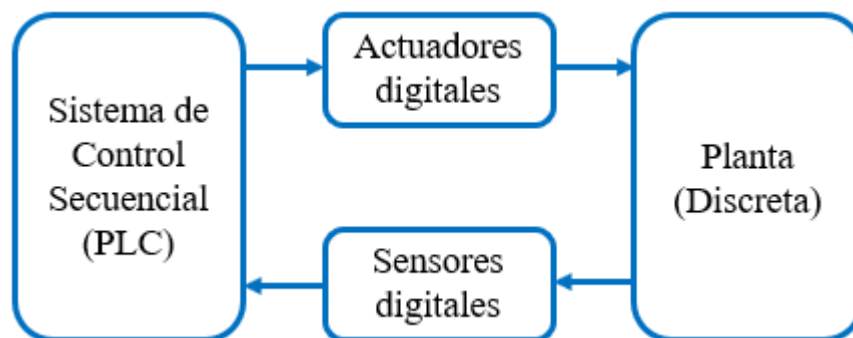
Tipo de señales del limpiarejillas

PARTE	TIPO DE SEÑAL	VALOR
Pórtico	Binaria	0 o 1
Rastrillo	Binaria	0 o 1
Garra	Binaria	0 o 1
Compuerta	Binaria	0 o 1

Podemos concluir que la planta es del tipo discreta, por lo tanto, para controlarla se debe aplicar un sistema de control del tipo secuencial.

Figura 12

Diagrama de bloques del sistema de control secuencial



2.6.2. Selección del PLC

En la actualidad el mercado de autómatas programables presenta una gran variedad de marcas donde cada una contiene una lista de modelos que trabajan con diferentes rangos de potencia. Se debe tomar en cuenta que el seleccionar el modelo adecuado es un proceso fundamental para cada proyecto, es por eso que se tiene que dimensionar la aplicación para que no haya problemas en las prestaciones. Por ello al momento de seleccionar un PLC es necesario tener en cuenta el número de E/S, la capacidad de la memoria, los protocolos y puertos de comunicación, la escalabilidad, la capacidad de Motion Control, la seguridad, el software, el precio y el soporte técnico (infoPLC, 2014).

Para esta investigación se han analizado tres marcas importantes de PLC: Schneider Electric con el modelo TM221CE16R, Siemens con el modelo S7-1200 1214 AC/DC/RLY y Rockwell Automation con el modelo 1769-L16ER-BB1B.

Tabla 4

Criterios para selección de PLC

CRITERIO	PLC		
	TM221CE16R	S7-1200 1214 AC/DC/RLY	1769-L16ER-BB1B
Número de E/S	9 DI 24 VCC 7 DO RLY 2A 2 AI 0-10 VCC	14 DI 24 VCC 10 DO RLY 2A 2 AI 0 - 10 VCC	16 DI 24 VCC 16 DO 24 VCC
Memoria	256 kB para usuarios y datos RAM 256 kB para variables internas RAM	75 kB para aplicación de usuarios 1000 kB para memoria de trabajo	384 KB
Comunicaciones	USB 2.0 mini-B Serial: RS232/RS485 Ethernet: 10/100 Mbps	USB Ethernet: 10/100 Mbps	USB Ethernet: 10/100 Mbps
Protocolo	Modbus TCP / Modbus RTU	Profinet	Ethernet/IP
Escalabilidad	Con módulos de expansión	Con módulos de expansión	Con módulos de expansión
Motion Control	4 HSC (High Speed Counting)	6 HSC (High Speed Counting)	No
Seguridad	No	No	No
Software	Machine Expert-Basic (Libre)	TIA PORTAL (Licenciado)	Studio 5000 (Licenciado)
Precio	S/. 871.00	S/. 1,530.00	S/. 4,446.15
Soporte Técnico	Sí	Sí	Sí

Si bien los modelos S7-1200 1214 AC/DC/RLY y 1769-L16ER-BB1B superan en número de E/S al modelo TM221CE16R, este último cuenta con tres puertos de comunicación (USB, serial y Ethernet), dos de ellos (serial y Ethernet - RJ45) son ideales para formar redes industriales y para la comunicación con otros dispositivos, tales como paneles HMI, variadores de frecuencia, entre otros. Los otros dos modelos solo cuentan con un puerto Ethernet y un puerto USB.

Respecto al software, el PLC TM221CE16R utiliza el software EcoStruxure Machine Expert-Basic para su configuración, programación y puesta en marcha. Este software cuenta con soporte técnico en muchos idiomas y se descarga libremente a través de los portales digitales de Schneider Electric. Los otros dos modelos también cuentan con soporte técnico especializado a través de muchas plataformas digitales, sin embargo, TIA PORTAL y Studio 5000 son licenciados y no vienen incluidos en la compra del PLC.

En el aspecto económico, el PLC TM221CE16R tiene un valor inferior comparado con el de los otros dos modelos. Esto representa una gran ventaja sobre los otros PLC que se están analizando, pues considerando sus funcionalidades podemos afirmar que el precio es muy bajo para la calidad y robustez que ofrece.

Después de realizar el análisis se ha seleccionado el PLC modelo TM221CE16R de Schneider Electric para la implementación del prototipo. Con este PLC se reducen en gran manera los costos de hardware y se elimina el costo por software para el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, se ha optado por incluir un panel HMI de la marca Schneider Electric, formado por la pantalla táctil de 5,7" modelo HMIS85 y el panel posterior con interfaces de comunicación USB, serial y Ethernet modelo HMIS5T.

Figura 13

PLC y HMI para el prototipo



Fuente: Schneider Electric

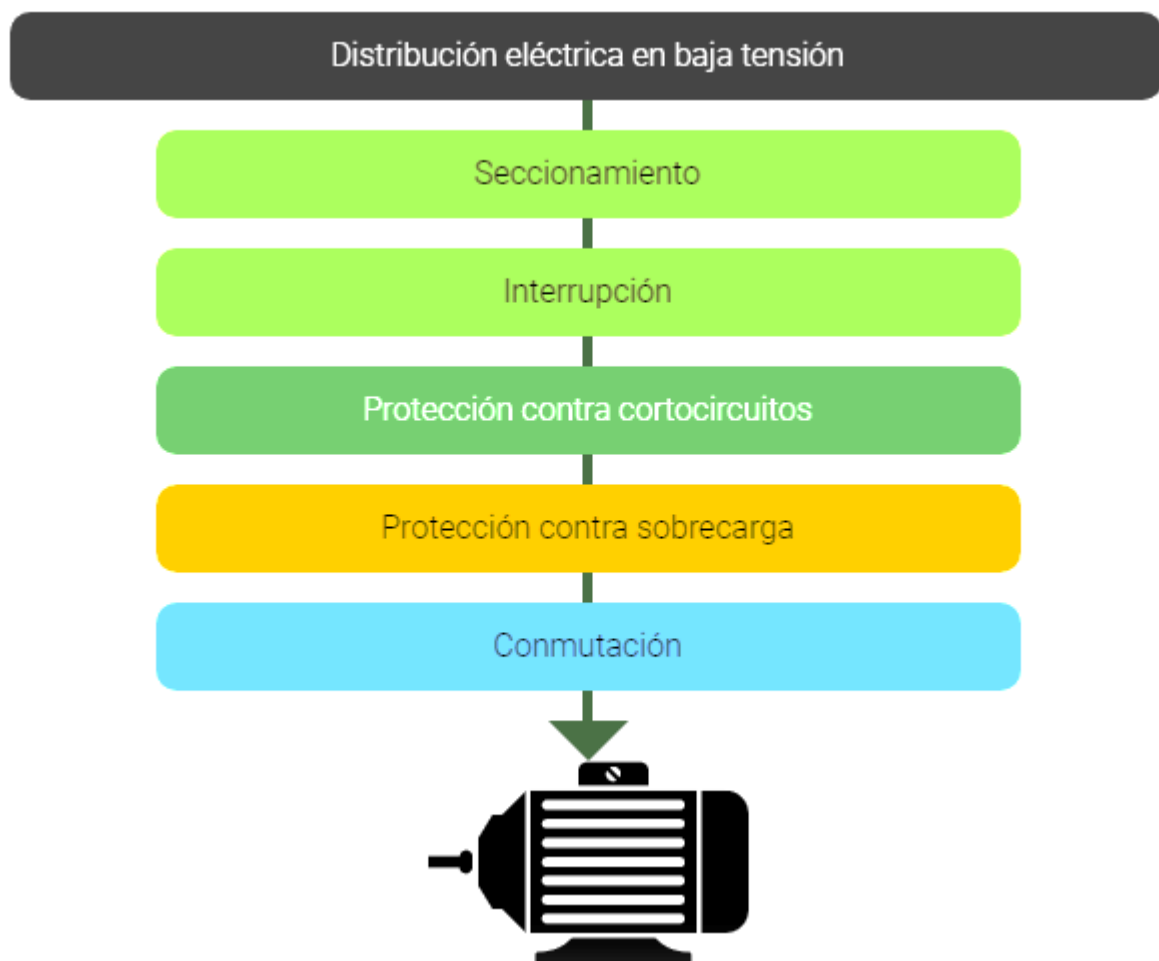
2.6.3. Selección del arrancador

De acuerdo a la norma europea IEC 947 todo arrancador debe garantizar las siguientes funciones:

- **Seccionamiento:** Para llevar a cabo la manipulación de instalaciones o equipos eléctricos con la mayor seguridad se debe tener en cuenta que los elementos cumplan la función de aislar los circuitos de control y de potencia del suministro de alimentación (Birt LH, 2021).
- **Protección contra cortocircuitos y sobrecargas:** El arrancador debe cumplir la función de detección y corte cuando haya corrientes por encima de $10I_n$ en cortocircuito o hasta $10I_n$ en caso de sobrecarga para evitar el sobrecalentamiento de las bobinas del motor y que los conductores dañen el aislante (Schneider Electric, 1999).
- **Conmutación:** El arrancador debe abastecer o cortar la alimentación y ajustar el consumo de corriente de un motor en caso se regule la velocidad (Syscominsa, 2021).

Figura 14

Funciones de un arrancador según Norma IEC 947



Fuente: <https://syzcominsa.pe/blog/arranque-y-proteccion-para-motores-asincronos-en-baja-tension>

Como se ha explicado antes, el pórtico del limpiarejillas es controlado por dos motores con arranque directo. Este tipo de arranque genera elevados picos de corriente y caídas de tensión, esta situación se agrava debido a que para posicionar el limpiarejillas el operador activa y desactiva el motor para lograr la posición adecuada provocando picos de corriente constantemente. Además, al cortar la energía del motor, este sigue girando por inercia, lo cual no permite posicionar correctamente la estructura.

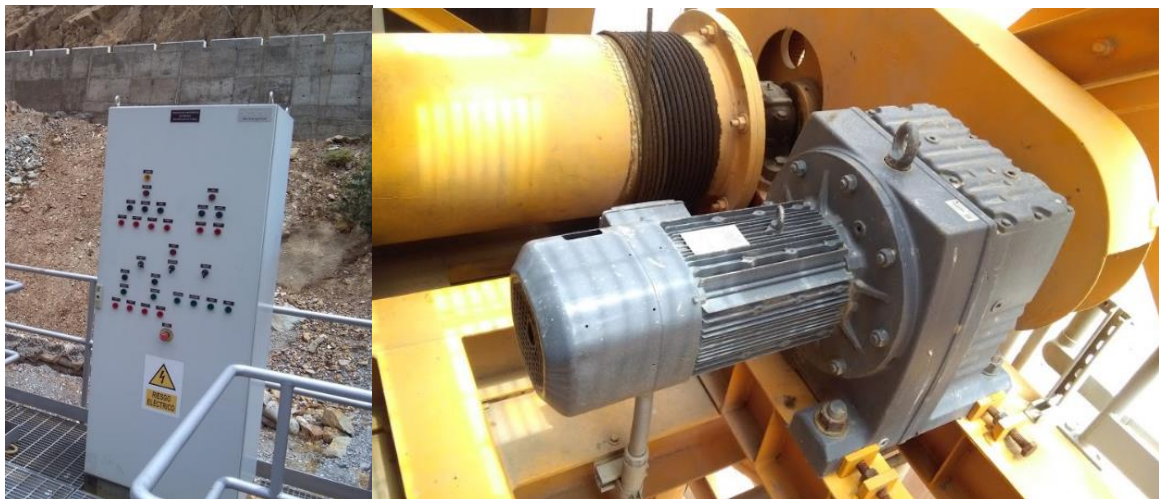
Tabla 5

Problemas del arranque directo

PROBLEMA	ARRANCADOR - HUAURA	
	CAUSAS	CONSECUENCIAS
Elevados picos de corriente y caídas de tensión	Elevada corriente producida en el arranque (5-8 In)	Perturbaciones en la red Daños a equipos de protección y maniobra Daño a los conductores Elevado consumo energético Incrementa costos
Mal posicionamiento	El motor sigue girando después de suspender el suministro de energía	El pórtico no se ubica correctamente

Figura 15

Tablero de control y motor del pórtico



Fuente: Central Hidroeléctrica Huaura.

Para solucionar estos inconvenientes debemos seleccionar otro tipo de arrancador con base en los criterios mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6

Criterios para selección del nuevo arrancador

CRITERIO	TIPO DE ARRANCADOR			
	DIRECTO	ESTRELLA - TRIÁNGULO	SOFT STARTER	VFD
Tipo de motor	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar
Costo	+	++	+++	++++
Corriente de arranque	5-8 In	2-3 In	3-5 In	In
Caída de tensión	Alta	Alta en conmutación	Baja	Baja
Armónicos	Alto	Moderado	Alto	Alto
Número de arranques	Restringido	2-3 veces más que el directo	Ilimitado	Elevado
Par inicial	Aprox. 2,5 Tn	0,2 a 0,5 Tn	0,5 Tn	1,5 a 2,2 Tn
Requerimiento térmico	Muy alto	Alto	Moderado	Bajo
Requerimiento mecánico	Muy alto	Moderado	Moderado	Bajo
Carga de gran inercia	Sí	No	No	Sí

Luego de realizar el análisis optamos por seleccionar un variador de frecuencia para eliminar completamente los picos de corriente y las caídas de tensión que pueden afectar a otros equipos conectados a la red de distribución eléctrica, así como a los dispositivos de protección, maniobra y conductores. Esto ayudará a disminuir los costos por consumo energético y recambio de componentes.

Con el VFD podemos realizar un número de arranques elevado con un par considerablemente alto y cambiar el estado de inercia del pórtico para moverlo a través de los rieles logrando una gran precisión en el posicionamiento a través de la configuración de rampas de aceleración y desaceleración.

Respecto al costo observamos que el VFD es la solución con mayor valor en el mercado, sin embargo, el requerimiento térmico y mecánico es bajo comparado con los otros arrancadores, esto significa que el mantenimiento del VFD se realizará con menor periodicidad generando ahorro económico.

Para la implementación del prototipo se ha seleccionado un VFD de la marca Schneider Electric modelo ATV32.

Figura 16

VFD para el prototipo



Fuente: Schneider Electric.

2.6.4. Implementación, lista de señales, programación de PLC y diseño de HMI

Dirigirse a la sección de Anexos.

III. RESULTADOS

En la Figura 17 observamos que el pórtico se encuentra en la posición inicial. Sin embargo, se debe confirmar que el rastrillo esté en la posición superior y la garra esté abierta.

Figura 17

Pórtico en la posición inicial



En la Figura 18 observamos que el rastrillo se encuentra en la posición superior y la garra está cerrada. De esta manera ya se puede iniciar la secuencia de funcionamiento automática.

Figura 18

Rastrillo en posición superior y garra abierta



Luego de recibir la orden de marcha, el rastrillo se desplazará hasta llegar a la parte inferior manteniendo la garra abierta tal como se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Rastrillo en posición inferior y garra abierta



Después de unos segundos la garra se cerrará simulando que está recogiendo basura en la rejilla como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Rastrillo en posición inferior y garra cerrada



Luego de recoger la basura en la rejilla el rastrillo regresará hacia la parte superior manteniendo la garra cerrada como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

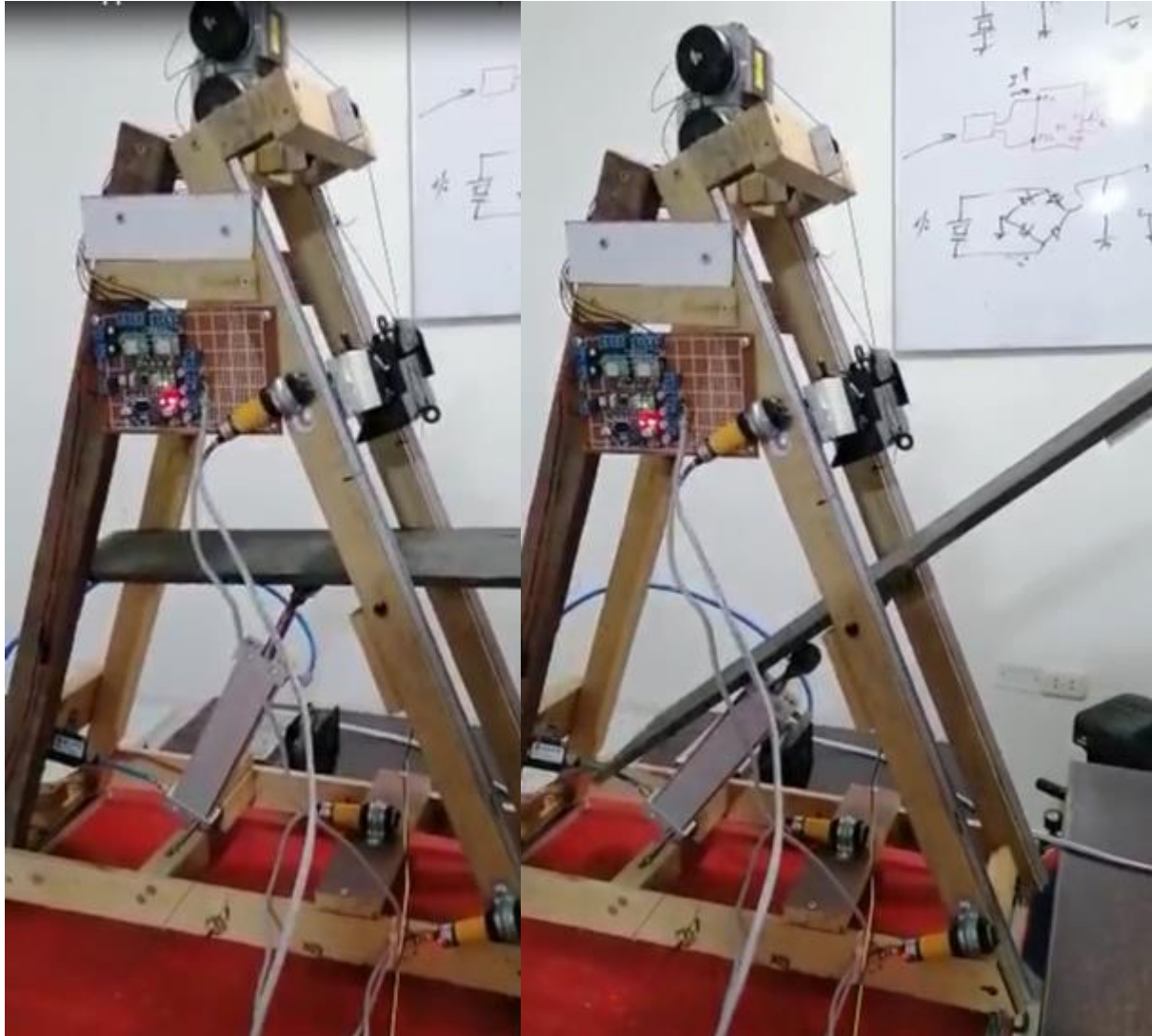
Rastrillo en posición superior y garra cerrada



Estando el rastrillo en la parte superior y la garra cerrada se procederá a abrir plataforma como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Rastrillo en posición superior, garra cerrada y plataforma abierta



Cuando la plataforma se abre completamente entonces la garra podrá abrirse para dejar caer la basura como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

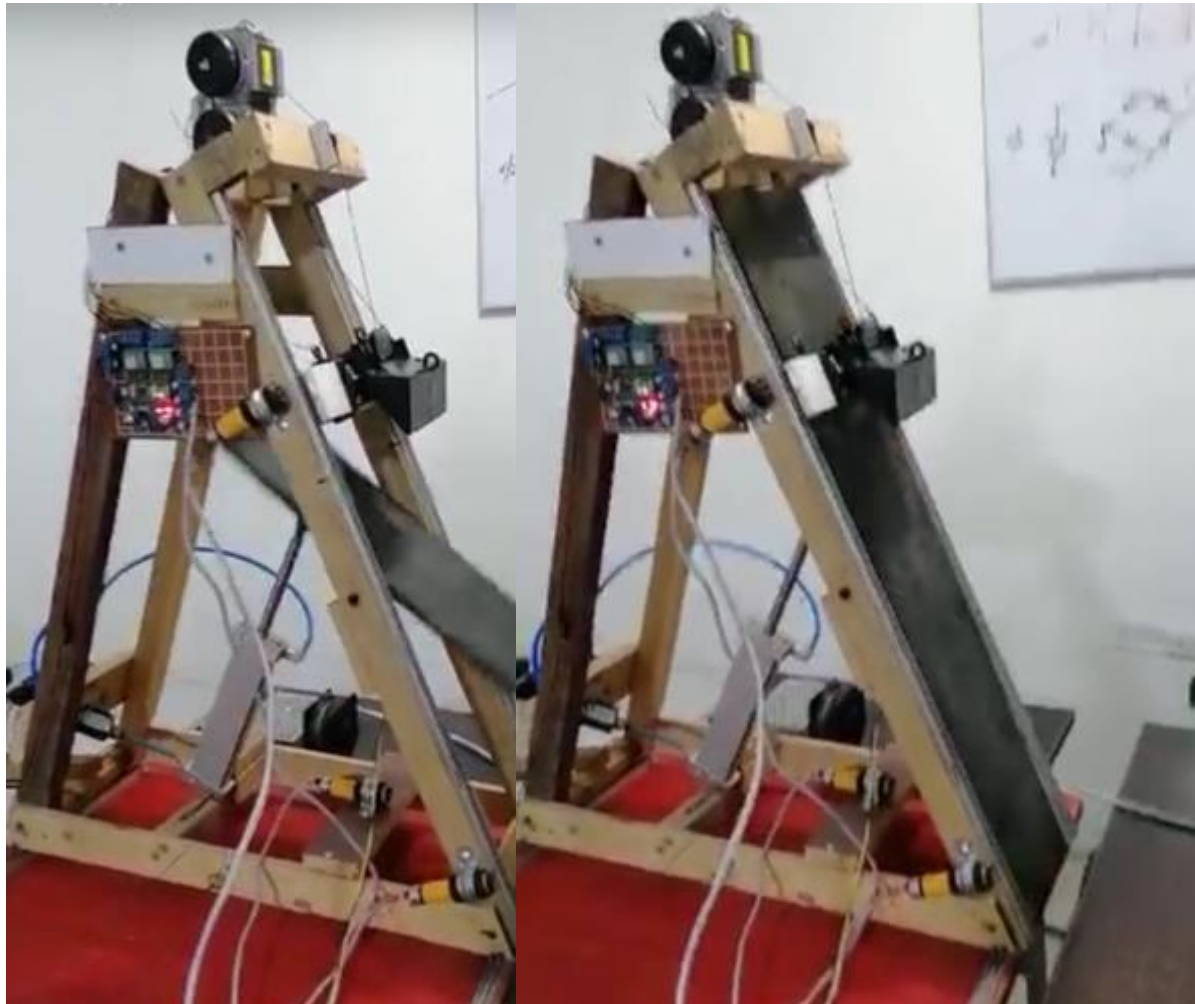
Rastrillo en posición superior, garra abierta y plataforma abierta



Después de dejar caer la basura completamente la plataforma empezará a cerrarse manteniendo la garra abierta como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Rastrillo en posición superior, garra abierta y plataforma cerrada



Luego el pórtico se desplazará hacia la posición media y la secuencia volverá a repetirse. Después el pórtico se desplazará hasta la posición final repitiendo la secuencia nuevamente. Las posiciones del pórtico se muestran en la Figura 25.

Figura 25

Pórtico en posición media y final



IV.CONCLUSIONES

1. Se logró realizar la secuencia de funcionamiento del limpiarejillas de forma automática mediante la programación de un algoritmo de control en un PLC Modicon M221 y una interfaz gráfica diseñada en una HMI Magelis. Sin embargo, en esta etapa surgió un inconveniente relacionado con las lecturas de tres sensores fotoeléctricos. Para solucionar este problema se emplearon relés electromecánicos como interfaz entre los sensores y el PLC. De esta manera todas las señales del limpiarejillas fueron monitoreadas por el PLC y el algoritmo funcionó correctamente.
2. Se logró establecer la velocidad adecuada (20 RPM) del variador de frecuencia para mejorar el posicionamiento del limpiarejillas realizando pruebas de movimiento en sentido horario y antihorario. Se comprobó que velocidades menores no podían mover la estructura, mientras que con velocidades mayores la estructura se desequilibraba.
3. Habiendo realizado el algoritmo de control en el PLC y determinando la velocidad adecuada para el variador de frecuencia se procedió a implementar el prototipo. Al realizar las pruebas experimentales observamos que el prototipo realizó la secuencia de funcionamiento automática sin problemas y el posicionamiento de la estructura en las tres posiciones se realizó con mucha precisión. De esta manera se demuestra que el sistema automatizado propuesto mejora la operación del limpiarejillas.

V. RECOMENDACIONES

1. Integrar alarmas visuales o sonoras para indicar fallas en el prototipo como sobrecorrientes en el motor, fallas en el variador de frecuencia, fallas de comunicación entre PLC, HMI y VFD, entre otras.
2. Integrar un sistema de telemetría para enviar la información al PLC y evitar que el cableado de las señales de los sensores fotoeléctricos y finales de carrera pueda interferir en el desplazamiento del pórtico del prototipo.
3. Emplear algún material metálico para realizar la estructura del prototipo.
4. Cambiar el nylon utilizado para el desplazamiento del rastrillo y pórtico del prototipo por un material adecuado para esta función de transmisión de movimiento.

REFERENCIAS

- Amador, A. (2016, febrero 16). Principales tipos de presas y su clasificación. *MÁS QUE INGENIERÍA*. <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>
- Automatizacion, I. 360. (2020). *Tipos de automatización industrial y sus características / Funciones y usos*. AutomatizacionIndustrial360.com. <https://automatizacionindustrial360.com/tipos/>
- Autycom. (2019, enero 29). Tipos de automatización industrial según procesos. *AUTYCOM*. <https://dev.autycom.com/cual-es-el-tipo-de-automatizacion-industrial-adecuado-procesos/>
- Birt LH. (2021). *Dispositivos de control y protección de potencia*. BIRT LH. https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/AI/AI03/es_IEA_AI03_Contenidos/website_index.html
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*. https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/
- Cabello, J. A. (2020, septiembre 15). *Tecnología y automatización industrial para una mayor eficiencia y competitividad*. revistas.economista.es. <https://revistas.economista.es/digital/2020/septiembre/tecnologia-y-automatizacion-industrial-para-una-mayor-eficiencia-y-competitividad-FC4598007>
- Caputo, R. (2015). *Nota técnica / Motores, conceptos básicos y métodos de arranque. Parte II / Editores*. https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/297/caputo_motores_conceptos_basicos
- Comeval. (2021). Válvulas y Elementos de Control para Presas y Centrales Hidroeléctricas. *COMEVAL VALVE SYSTEMS*. <https://www.comeval.es/download/valvulas-y-elementos-de-control-para-presas-y-centrales-hidroelectricas/>

Controlller. (2017, abril 3). *Criterios de Selección de un PLC y Protocolos de Comunicación*.

Criterios de Selección de un PLC y Protocolos de Comunicación.

<https://control786.wordpress.com/>

EDS Robotics. (2020, julio 26). La importancia de la automatización de procesos industriales

| 5 beneficios. *EDS Robotics*. <https://www.edsrobotics.com/blog/automatizacion-procesos-industriales/>

Frank. (2016, agosto 28). PLC Memory. *AutomationPrimer*.

<https://automationprimer.com/2016/08/28/plc-memory/>

García, D. (2011, marzo 12). *Artículo técnico: Soluciones Omron en Motion Control*.

<https://www.infoplcn.net/descargas/151-omron/motion-control/737-articulo-tecnico-soluciones-omron-en-motion-control>

García, R. (2021, agosto 18). *Centrales Hidroeléctricas*. Centrales Electricas.

<https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo3.html>

González, J. (2021). *Electricidad its—Arranque de motores trifasicos a tensión reducida*.

<https://electricidadcts.es.tl/Arranque-de-motores-trifasicos-a-tensi%F3n-reducida.htm>

Groover, M. P. (2013). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated*

Manufacturing (4ta ed.).

Hidrometalica. (2020). *Limpiarrejas Automático / Hidrometalica* [Hidro Metalica].

<https://www.hidrometalica.com/limpiarrejas-automatico/>

infoPLC, D. (2014, febrero 10). *10 aspectos para elegir un autómata PLC - infoPLC*.

infoPLC. <https://www.infoplcn.net/blogs-automatizacion/item/101501-10-aspectos-para-elegir-automata-plc>

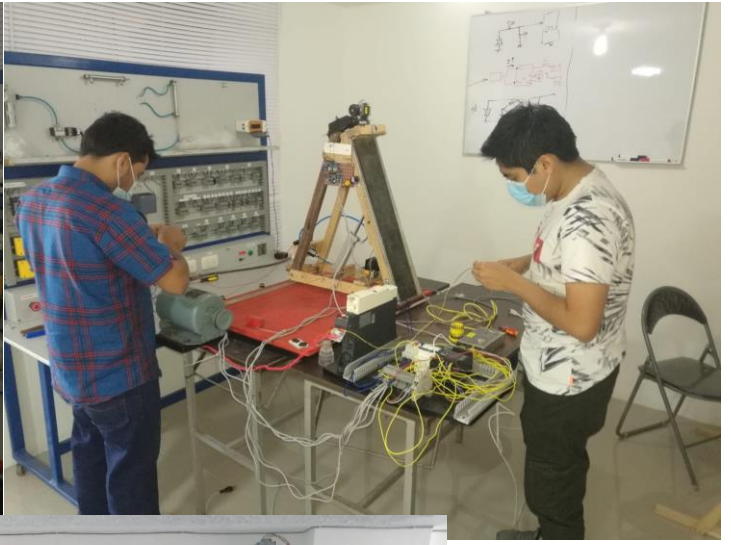
Jeffries, M. (2021, febrero 15). *Choosing the Right PLC: 6 Things to Consider*.

<https://www.maderelectricinc.com/blog/choosing-the-right-plc-6-things-to-consider>

- Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Automatas programables y sistemas de automatización / PLC and Automation Systems*. Marcombo.
- MYG. (2020). Arranque de motores eléctricos de C.A. – MYG Inc Motores Eléctricos. *Arranque de motores electricos de C.A.* <https://motoresygeneradores.com/arranque-de-motores-electricos-de-c-a/>
- MYG. (2020). *Consideraciones para Seleccionar y Configurar un VFD – MYG Inc Motores Eléctricos.* <https://motoresygeneradores.com/consideraciones-para-seleccionar-y-configurar-un-vfd/>
- Oviedo, E. (2018). Las Hidroeléctricas: Efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 50(3), 191-192.
- Oxysan. (2020). Limpia Rejas Hidraulico – Oxysan. *Oxysan*. <http://www.oxysan.com.ar/limpia-rejas-hidraulico/>
- Purdue Global. (2020). *Are Robots Really Coming for Our Jobs? How Automation and AI Will Affect the Future of Work*. 13.
- Redondo, J. (2018, enero 24). Centrales hidroeléctricas—Qué son, tipos y funcionamiento de las centrales en España. *Erenovable.com*. <https://erenovable.com/centrales-hidroelectricas/>
- RIPIPSA. (2021, febrero 26). La Automatización ¿Qué es? | Definición, Importancia y Objetivos. *Ripipsa Cobots*. <https://ripipsacobots.com/automatizacion/>
- Rodal, E. (2020, septiembre 28). Automatización industrial en los entornos productivos, gestión y transporte. *Podcast Industria 4.0*. <https://www.podcastindustria40.com/automatizacion-industrial/>
- Satoshi. (2017, junio 15). Escalabilidad en automatización industrial: ¿Qué significa? ¿Es deseable? *Opiron*. <https://www.opiron.com/escalabilidad-en-automatizacion-industrial/>

- Schneider Electric. (1999). *Manual Electronico Telesquemario. 06-1999*, 281.
- Syscominsa. (2021). *Arranque y Protección para motores asíncronos en baja tensión*. S y Z COMINSA. <https://syzcominsa.pe/blog/arranque-y-proteccion-para-motores-asincronos-en-baja-tension>
- Syscominsa. (2021). *¿Cuándo es necesario usar un arrancador suave?* S y Z COMINSA. <https://syzcominsa.pe/blog/cuando-es-necesario-usar-un-arrancador-suave>
- Trevi. (2020). *Trevi Environmental Solutions—Rejillas y tamices*. Trevi Enviromental Solutions. <https://www.trevi-env.com/es/agua/agua-overzicht/137-agua-technikfiches/448-rejillas-y-tamices>
- Underwood, D. (2018, marzo 27). *Types of Industrial Automation Systems*. Association for Advancing Automation. <https://www.automate.org/editorials/types-of-industrial-automation-systems>
- Vásquez, A., y Villanueva, S. (2020). *Pros y contras de los sistemas generadores de energía ecológica*. <https://ecologica.jornada.com.mx/2020/05/31/pros-y-contras-de-los-sistemas-generadores-de-energia-4718.html>
- Victoriano. (2021, agosto 19). *Limpiarrejas*. noheydia.net. <http://www.noheydia.net/productos/limpiarrejas/>

ANEXOS



LIMPIA REJILLAS

[illegible]

HMI

SIMBOLO	DIRECCION	DESCRIPCIÓN
HMI_START	%M71	PULSO PARA INICIO AUTOMATICO
HMI_PE	%M70	PARADA DE EMERGENCIA
HMI_RESET	%M103	PULSO PARA RESET VARIADOR
PORTICO_POS_MEDIA_LS2	%MW0:X2	SENSOR POSICION MEDIO
PORTICO_POS_INICIAL_LS1	%MW0:X3	SENSOR POSICION INICIAL
PORTICO_POS_FINAL_LS3	%MW0:X4	SENSOR POSICION FINAL
RASTRILLO_POS_INFERIOR_LS4	%MW0:X5	SENSOR RASTRILLO POS INFERIOR
RASTRILLO_POS_SUPERIOR_LS5	%MW0:X6	SENSOR RASTRILLO POS SUPERIOR
PLATAFORM_CERRADA_LS6	%MW0:X7	SENSOR PLATAFORMA CERRADA
PLATAFORM_ABIERTA_LS7	%MW0:X8	SENSOR PLATAFORMA ABIERTA
GARRA_ABIERTA_LS8	%MW0:X9	SENSOR GARRA ABIERTA
GARRA_CERRADA_LS9	%MW0:X10	SENSOR GARRA CERRADA
VFD_CMD_FORWARD	%M10	VARIADOR MOVIENDO DERECHA
VFD_CMD_BACKWARD	%M11	VARIADOR MOVIENDO IZQUIERDA
HMI_RASTRILLO_CMD_BAJAR_KM1	%M150	BAJANDO RASTRILLO
HMI_RASTRILLO_CMD_SUBIR_KM2	%M151	SUBIENDO RASTRILLO
HMI_PLATAFORM_CMD_CERRAR_KM3	%M152	PLATAFORMA CERRANDO
HMI_PLATAFORM_CMD_ABRIR_KM4	%M152	PLATAFORMA ABRIENDO
HMI_GARRA_CMD_CERRAR_KM5	%M153	CERRANDO GARRA
HMI_GARRA_CMD_ABRIR_KM6	%M154	ABRIENDO GARRA

The diagram illustrates the control logic for a 10-run machine. It consists of 8 rungs, each representing a different state or action:

- Rung3:** Ladder logic for the 10th position inferior. It includes a timer T1 (10.3) and an output Q0.0.
- Rung4:** Ladder logic for the 10th position superior. It includes a timer T2 (10.4) and an output Q0.1.
- Rung5:** Ladder logic for the 10th position closed. It includes a timer T3 (10.7) and an output Q0.0.
- Rung6:** Ladder logic for the 10th position open. It includes a timer T4 (10.6) and an output Q0.1.
- Rung7:** Ladder logic for the 10th position down. It includes a timer T5 (10.5) and an output Q0.0.
- Rung8:** Ladder logic for the 10th position up. It includes a timer T6 (10.8) and an output Q0.1.

The diagram uses standard ladder logic symbols: normally open contacts (—|—), normally closed contacts (—|/—), and output coils (—().

Tareas **Herramientas**

Comportamiento

- Tarea maestra
 - 1 - IO LIST
 - 2 - PORTICO VFD
 - 3 - SEC_AUTO

Tareas periódica

Eventos

POU disponibles

Funciones definidas por el usuario

Bloques de funciones de comunicación

1 - IO LIST		Comentario	
> LD	> IL	+	-
LD Rung9	Cuerpo del escalón	DO2 PLATAFORMA CERRAR	
		Comentario	
		PLATAFORM_C...	
		%MW132	
		Comentario	
		DO3 PLATAFORMA ABRIR	
		Comentario	
		PLATAFORM_C...	
		%MW133	
		Comentario	
		DO4 GARRA ABRIR	
		Comentario	
		GARRA_CMD_A...	
		%MW135	
		Comentario	
		GARRA_CM...	
		%M41	
		Comentario	
		DO5 GARRA CERRAR	
		Comentario	
		GARRA_CMD_C...	
		%MW134	
		Comentario	
		GARRA_CM...	
		%M40	
		Comentario	
		DO6 NO USADA	
		Comentario	

Tareas **Herramientas**

Comportamiento

- **Tarea maestra**
- 1 - IO LIST
- 2 - PORTICO VFD
- 3 - SEC.AUTO

Tarea periódica

Eventos

POU disponibles

Funciones definidas por el usuario

Bloques de funciones definidas por el usuario

Slot	Module	Order Number	Version	Hardware Config
1	PS 307 5A	6ES7 307-1EA00-0AA0	V1.0	PS 307 5A
2	CPU 314C-2 DP	6ES7 314-6CG03-0AB0	V2.0	CPU 314C-2 DP
3	DI24xDC24V/DO16xDC24V/0.5A	6ES7 321-1BH02-0AA0	V1.0	DI24xDC24V/DO16xDC24V/0.5A
4				
5				

The screenshot shows the 'HW Config' window for a SIMATIC 300 station. The 'Rack Configuration' table is visible, showing the modules in the rack. The modules are: PS 307 5A (Slot 1), CPU 314C-2 DP (Slot 2), and DI24xDC24V/DO16xDC24V/0.5A (Slot 3). The 'HW Config' window is set to 'Rack 1' and shows the 'Rack Configuration' table.

Tareas **Herramientas**

Comportamiento

- ✓ Tarea maestra
 - > 1 - IO LIST
 - > 2 - PORTICO VFD
 - > 3 - SEC_AUTO

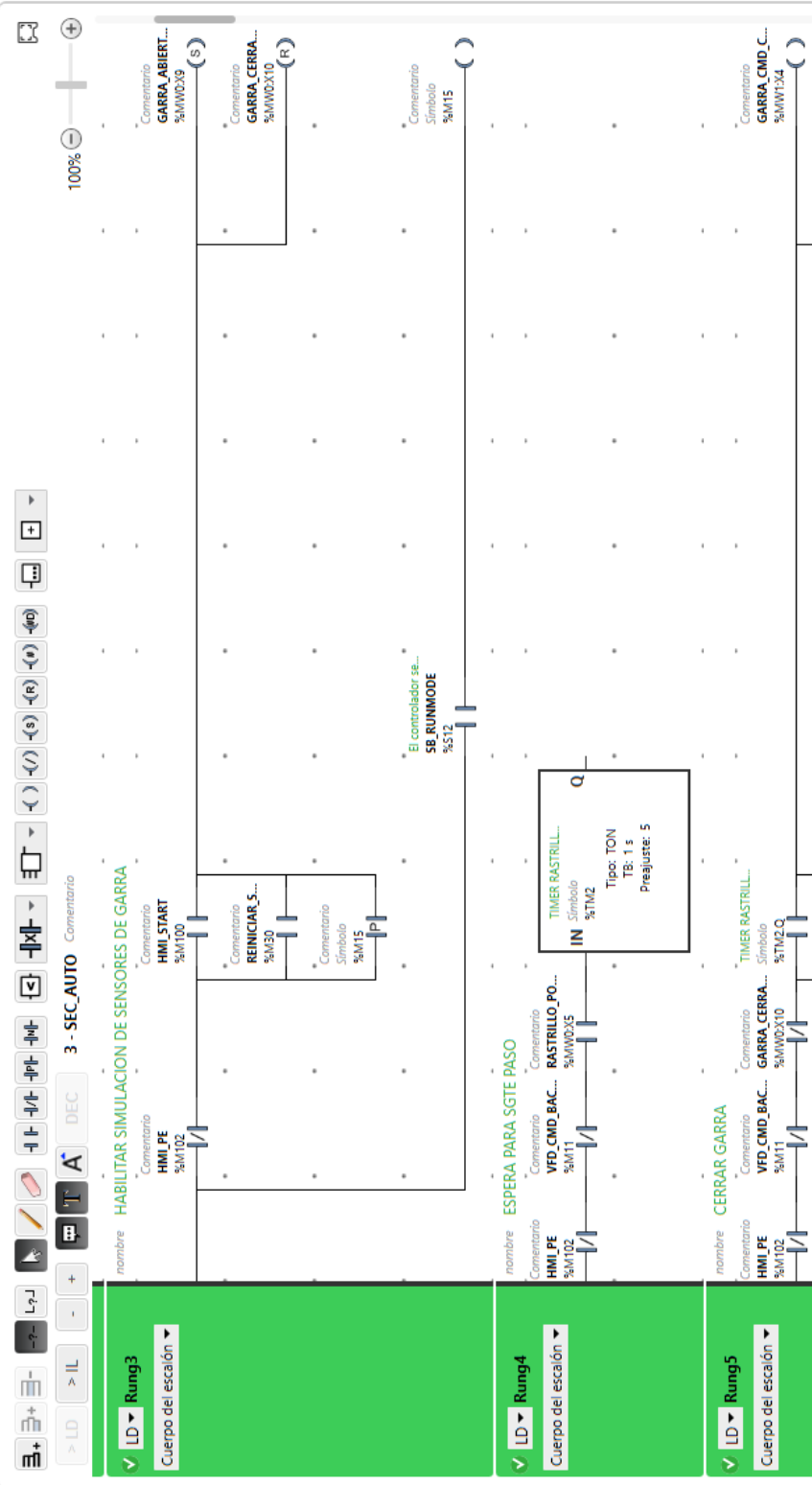
Tarea periódica

Eventos

POU disponibles

Funciones definidas por el usuario

Bloques de funciones definidos



Tareas

Herramientas

Comportamiento

Tarea maestra

- > 1 - IO LIST
- > 2 - PORTICO VFD
- > 3 - SEC_AUTO

Tarea periódica

Eventos

POU disponibles

Funciones definidas por el us

Bloques de funciones definid

3 - SEC_AUTO

nombre SUBIR RASTRILLO

HMI_PE

VFD_CMD_BAC...

%M102

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

%M11

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Comentario

Tareas Herramientas

Comportamiento

Tarea maestra

1 - IO LIST

2 - PORTICO VFD

3 - SEC_AUTO

Tarea periódica

Eventos

POU disponibles

Funciones definidas por el us

Bloques de funciones definid

3 - SEC_AUTO Comentario

LD Rung10

ABRIR PLATAFORMA

HMI_PE

VFD_CMD_BAC...

PLATAFORM_A...

TIMER_BASTRILL...

PLATAFORM_C...

STATUS_4

ESPERA PARA SGTE PASO

LD Rung11

ABRIR GARRA

HMI_PE

VFD_CMD_BAC...

GARRA_ABIERT...

TIMER PLATAFO...

GARRA_CMD_A...

STATUS_5

SIMULACION DE SENSORES DE GARRA

LD Rung12

ABRIR GARRA

HMI_PE

VFD_CMD_BAC...

GARRA_ABIERT...

TIMER PLATAFO...

GARRA_CMD_A...

STATUS_5

LD Rung13

ABRIR GARRA

HMI_PE

VFD_CMD_BAC...

GARRA_ABIERT...

TIMER PLATAFO...

GARRA_CMD_A...

STATUS_5

ABRIR GARRA

HMI_PE

VFD_CMD_BAC...

100%

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

+

-

- Tarea maestra
 - 1 - IO LIST
 - 2 - PORTICO VFD
 - 3 - SEC_AUTO

Tarea periódica
Eventos
POU disponibles
Funciones definidas por el us
Bloques de funciones definid

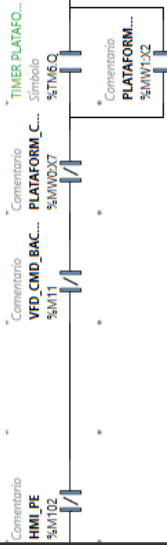
3 - SEC_AUTO Comentario

> LD > IL > DEC

LD Rung15

Cuerpo del escalón

nombre CERRAR PLATAFORMA



LD Rung16

Cuerpo del escalón

nombre ESPERA PARA SGTE PASO



FIN DE SE...
Simbolo
%STM7
Tipo: TON
TB: 1 s
Preajuste: 5

CONTEO DE SEC...

Simbolo

%M122

%CD

%M5

%M116

%M25

%M115

%M116

%M25

%M115

%M116

%M25

%M115

%M116

%M25

%M115

%M116

%M25

%M115

%M116

%M25

%M115

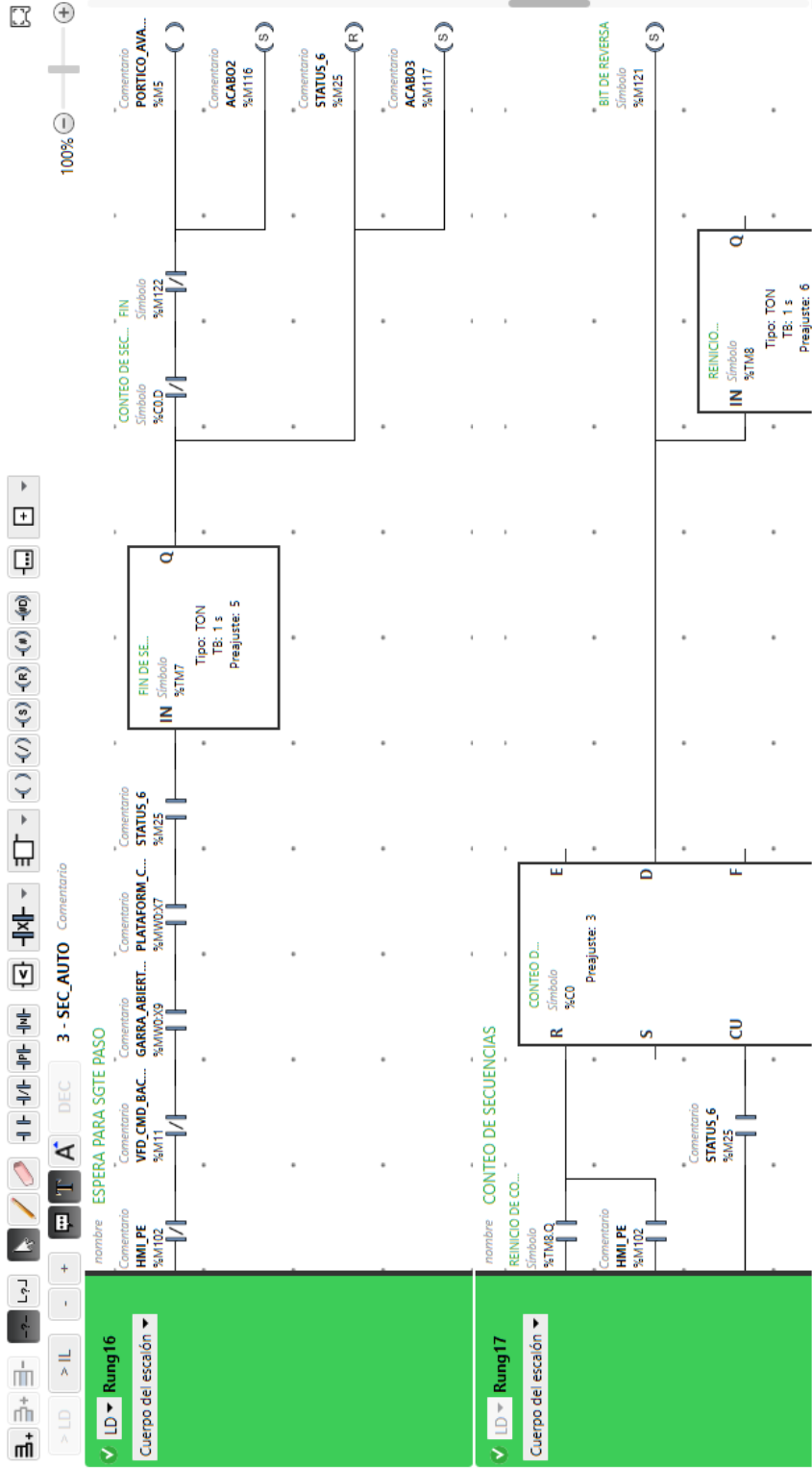
%M116

%M25

%M115

%M116

%M25



Tareas Herramientas

Compartimiento

- Tarea maestra
 - 1 - IO LIST
 - 2 - PORTICO VFD
 - 3 - SEC_AUTO

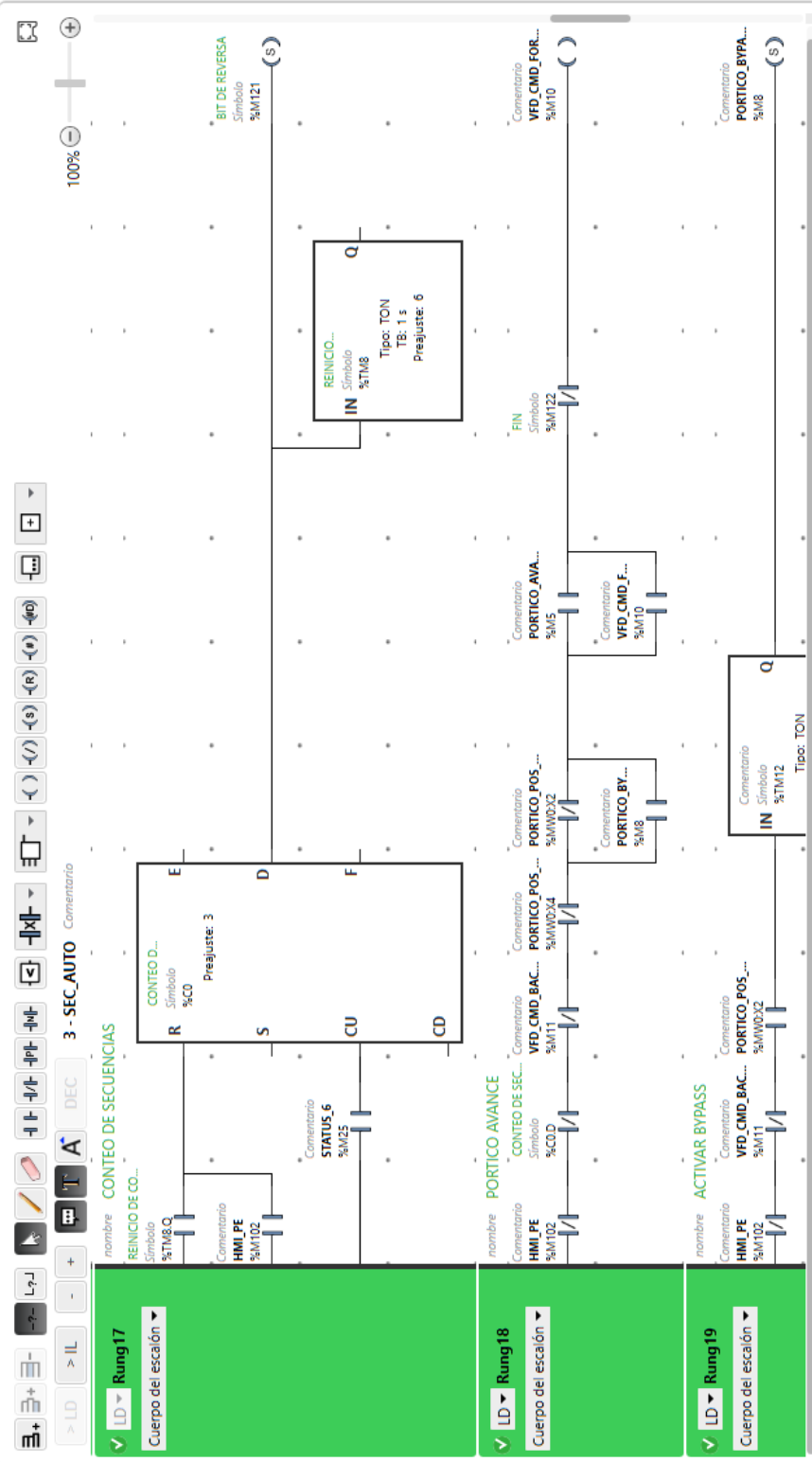
Tarea periódica

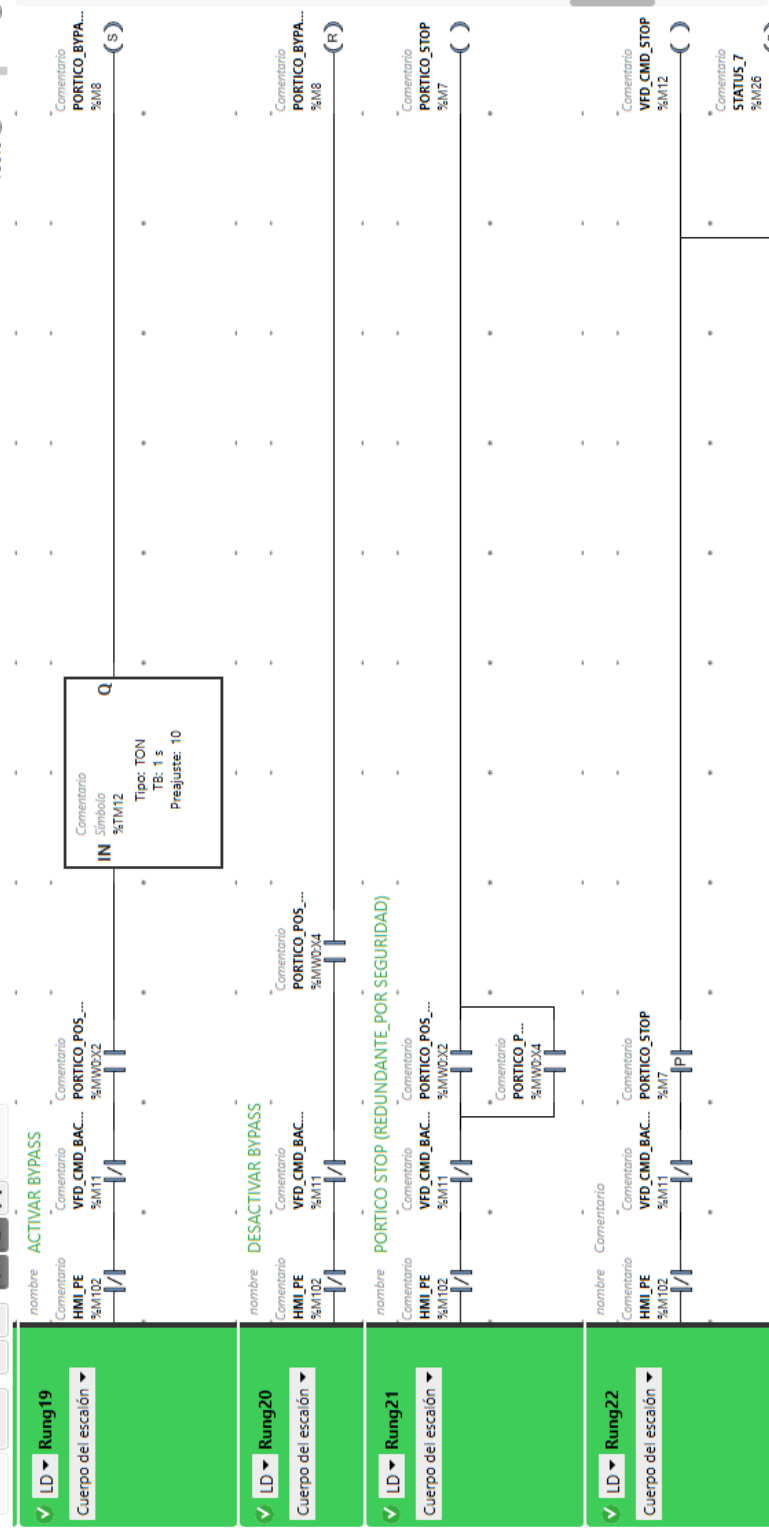
Eventos

POU disponibles

Funciones definidas por el usuario

Bloques de funciones definidas por el usuario





- Tarea maestra
 - 1 - IO LIST
 - 2 - PORTICO VFD
 - 3 - SEC_AUTO

- Tarea periódica
- Eventos
- POU disponibles
- Funciones definidas por el us
- Bloques de funciones definid

Diagram navigation and editing tools including symbols for Ladder Logic (LD), Rung, and various logic gates and timers.

LD Rung22

Cuerpo del escalón

Comentario
HMI_PE VFD_CMD_BAC...
%M102

Comentario
VFD_CMD_STOP
%M11

Comentario
PORTICO_STOP
%M7

LD Rung23

Cuerpo del escalón

Comentario
HMI_PE VFD_CMD_BAC...
%M102

Comentario
VFD_CMD_BAC...
%M11

Comentario
STATUS_7
%M26

Comentario
ESPERA PARA SGTE PASO

LD Rung24

Cuerpo del escalón

Comentario
HMI_PE BIT DE REVERSA
%M102

Comentario
PORTICO REVERSA
%M121

Comentario
PLATAFORM_C...
%M103X7

LD Rung25

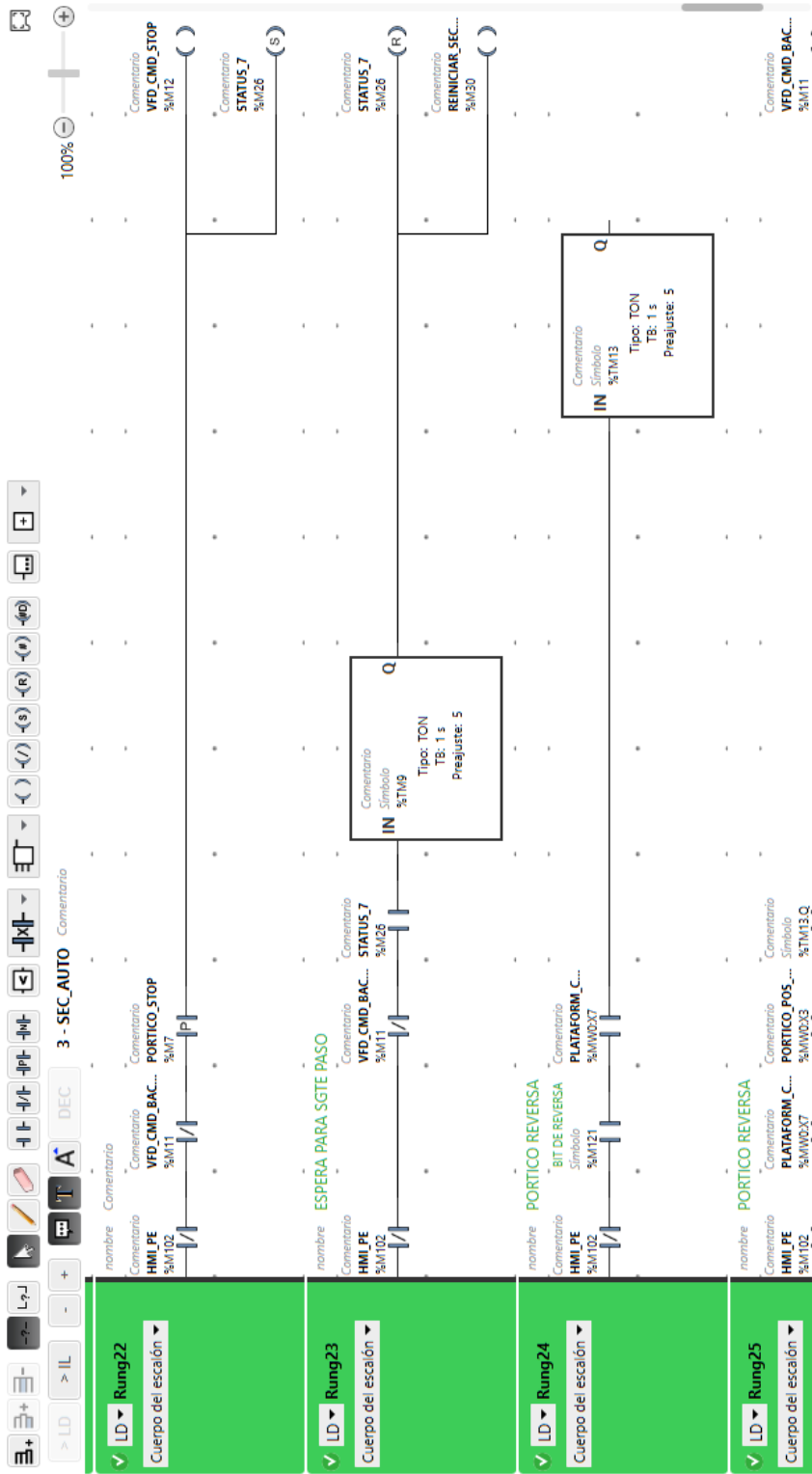
Cuerpo del escalón

Comentario
HMI_PE PLATAFORM_C...
%M102

Comentario
PORTICO REVERSA
%M103X7

Comentario
PORTICO_POS...
%M103X3

Comentario
%TM13.Q



Tareas Herramientas

- Comportamiento
 - Tarea maestra
 - 1 - IO LIST
 - 2 - PORTICO VFD
 - 3 - SEC_AUTO
 - Tarea periódica
 - Eventos
 - POU disponibles
 - Funciones definidas por el usuario
 - Bloques de funciones definidos



























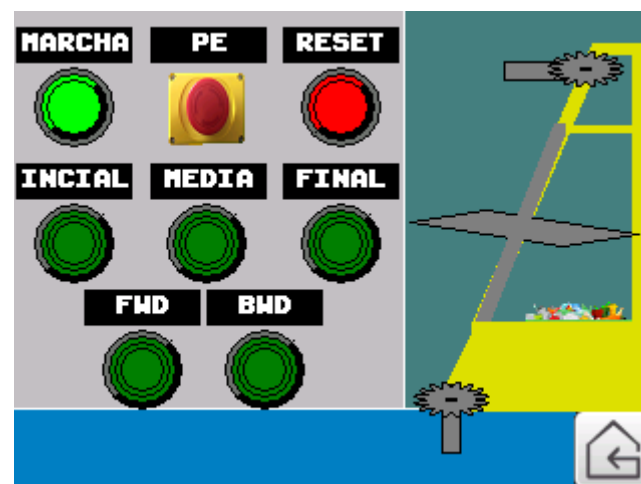






[illegible]

INTERFAZ GRÁFICA



Borrador de Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

11 %

FUENTES DE INTERNET

0 %

PUBLICACIONES

5 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

docplayer.es

Fuente de Internet

1 %

2

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

3

revistas.utb.edu.ec

Fuente de Internet

1 %

4

1library.co

Fuente de Internet

1 %

5

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1 %

6

repositorio.unprg.edu.pe:8080

Fuente de Internet

1 %

7

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

1 %

8

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

9

www.projection-keyboard.com

Fuente de Internet

<1 %

Ing. Segura Altamirano Segundo Francisco
DNI: 09922587



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	José Alberto / Humberto Miguel Damián Quiroz / Rojas Roque
Título del ejercicio:	Perfil Maestría
Título de la entrega:	Borrador de Tesis
Nombre del archivo:	SISTEMA AUTOMATIZADO LIMPIAR JILLAS _ REPRESA HIDROEL...
Tamaño del archivo:	1.58M
Total páginas:	52
Total de palabras:	8,093
Total de caracteres:	48,279
Fecha de entrega:	12-abr.-2022 03:00p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega...	1809079753

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



TESIS
"SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL
CONTROL DE LIMPIAR JILLAS EN REPRESA
HIDROELÉCTRICA"

PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTRÓNICO

ELABORADA POR:

Bach. Damián Quiroz José Alberto
Bach. Rojas Roque Humberto Miguel

ASESOR:

Ing. Segura Altamirano Segundo Francisco

LAMBAYEQUE 2022

Ing. Segura Altamirano Segundo Francisco
DNI: 09922587