



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en  
Electromecánica

Modernización del sistema de izaje 150 toneladas y transporte 40 toneladas de casa de  
máquinas de la central hidroeléctrica Agoyán mediante un sistema de control inalámbrico en  
CELEC-EP Unidad de Negocio Hidroagoyán

Autor:

Puca Lalaleo, John Henry

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo, **Director**



# AGENDA:

- 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2 OBJETIVOS
- 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# AGENDA:

- 1** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2** OBJETIVOS
- 3** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5** ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

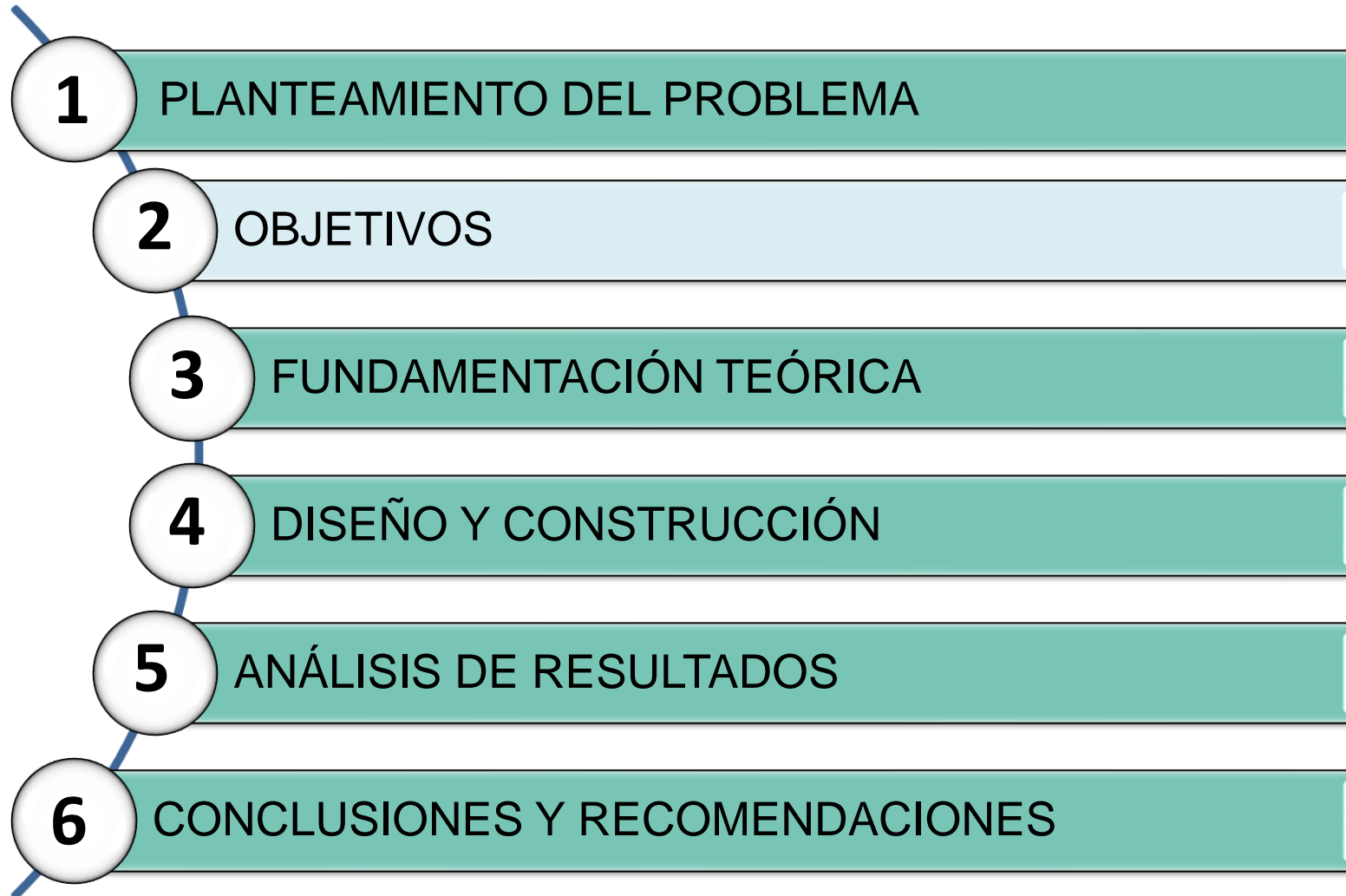


## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La central Hidroeléctrica Agoyán, posee un sistema de transporte y de izaje, los cuales constan de motores trifásicos, tableros de control, contactores, relés, tiristores, estos dos sistemas son necesarios para los mantenimientos preventivos y correctivos en casa de máquinas ante una eventual intervención en las unidades generadoras donde sea necesario el montaje, y transporte de equipos, repuestos y materiales de gran magnitud, pudiendo transportar elementos de 40 toneladas e izar otros de hasta 150 toneladas.

Las variables del proceso no tienen ningún nivel de monitoreo, pudiendo provocar accidentes laborales o problemas en el patio de maniobras de casa de máquinas. Los posibles fallos del sistema de transporte y de izaje no son visibles al ojo del operador, aumentando el tiempo de mantenimiento de esos sistemas.

El área de trabajo y manipulación de estos sistemas por parte del operador se limitan a escasos metros de estos, pudiendo provocarles graves accidentes



# OBJETIVO GENERAL

Modernizar el sistema de izaje y transporte de casa de máquinas de la central Hidroeléctrica Agoyán mediante un sistema de control inalámbrico

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el funcionamiento, características y estado actual del sistema de izaje y transporte.
- Realizar la comparación entre los dos sistemas de control, anterior y nuevo para comparar tiempos de trabajo del proceso.
- Seleccionar los dispositivos que presenten las prestaciones necesarias para mejorar el proceso al monitorear en tiempo real las variables de interés.
- Diseñar la topología de red adecuada para el nuevo sistema de control utilizando el HMI, el PLC y el punto de acceso.
- Diseñar el control inalámbrico necesario para alertar al operador sobre posibles fallos en el proceso y reducir tiempos de ejecución al modificar parámetros del variador.
- Implementar un sistema de control inalámbrico para el sistema de izaje y de transporte de caza de máquinas de la central hidroeléctrica Agoyán.
- Dotar al personal técnico y de operación de casa de máquinas de un manual de operación del sistema a implementarse, para su posterior mantenimiento y manipulación.

# AGENDA:

- 1** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2** OBJETIVOS
- 3** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5** ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





# COCHE TRANSPORTADOR

Su diseño compacto y control de movimiento, permite la manipulación del transportador, sin embargo, el mando cableado no permite el libre tránsito del operador para verificar que las cargas transportadas causen daños a externos.

Variable	Valor
Carga nominal	40 t
Alimentación	480 V trifásico
Frecuencia eléctrica	60 Hz
Velocidad de avance	15 m/ min
Potencia por motor	1.5 KW
Velocidad síncrona	85 rpm

Botón	Función
On	Energiza el tablero de control
Off	Desenergiza el tablero de control
F	Avance adelante
B	Avance atrás
BZ	Sirena



## PUENTE GRÚA

El puente grúa cuenta de una cabina ubicada a un costado de los testeros para su manipulación y control, en ella se puede mover libremente el puente en dirección norte – sur, manipular el carro en dirección este – oeste, y controlar el izaje de los ganchos principal y auxiliar. Desde la cabina de operación se encuentra ubicado el selector principal para poder manipular el puente grúa desde cabina o desde la botonera.



## PUENTE GRÚA

- El puente grúa cuenta con un sistema de barras y escobillas para poder alimentar los tableros de control mientras el puente se encuentra en movimiento.
- El puente se desplaza por un camino de rodadura construido principalmente por barras de acero semejantes a los rieles de un tren. Los rieles se disponen de manera longitudinal y paralelos para evitar descarrilamiento de las ruedas de doble ceja.
- El mando de control del puente grúa cuenta con una manguera de cables de aproximadamente 15 metros conectado a la botonera principal de mando.

## TIPOS DE MANDOS DEL SISTEMA DE IZAJE Y TRANSPORTE

- El mando cableado no permite el libre tránsito del operador para verificar que las cargas transportadas causen daños a externos.
- En la figura se muestra la botonera de control del coche transportador, este mando consta de 5 botones, On, off, forward, backward, buzz.



## TIPOS DE MANDOS DEL SISTEMA DE IZAJE Y TRANSPORTE

El puente grúa dispone de un cable de que cuelga desde el puente grúa a una distancia próxima al suelo y al operador, este cable se conecta directamente a la botonera donde se realizará el control de los movimientos del carro, puente y ganchos.

En la cabina se permiten seleccionar los movimientos del puente y carro, y el izaje de los ganchos, en el panel de control se muestra un voltímetro y amperímetro analógico para evidenciar que el sistema está en operación, muestran indicadores luminosos y un paro principal de emergencia, para poder desenergizar los tableros del puente grúa.



# AGENDA:

- 1** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2** OBJETIVOS
- 3** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5** ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# SELECCIÓN DE LOS AUTÓMATAS

Dentro de la familia de los PLC 1200 existe una variedad de modelos, el modelo CPU 1212c dc/dc/rly, es un controlador que, con características técnicas favorables para el control del coche transportador, cuenta con un puerto ethernet para la comunicación con otro dispositivo o controlador Siemens.

Variable	Descripción
Modelo	CPU 1212C DC/DC/RLY
Paquete de programación	Step 7 V13 SP1 o Superior
Voltaje de alimentación	20.04 V a 28.8 V
Disipación de potencia	9 W
Memoria de trabajo	100 KB
Memoria de carga	2 MB ampliable con tarjeta SD
E/S digitales integradas	8 entradas / 6 salidas
E/S analógicas integradas	2 entradas
Área de marcas	4096 bytes
Ampliación de módulos de señales	2 SM
Ampliación de módulos de comunicación	3 CM
Tipo de interfaz	Profinet / ethernet /aislada
Dimensiones	90 x 100 x 76 mm



# SELECCIÓN DE LOS AUTÓMATAS

Los PLC S7 1200, presentan una tecnología moderna e infraestructura compacta, versatilidad de comunicación, dentro de la familia de los PLC 1200, el modelo CPU 1215c dc/dc/dc, es un controlador que permitirá el control de los movimientos del puente grúa, cuenta con dos puertos ethernet para la comunicación con otros dispositivos.

Variable	Descripción
Modelo	CPU 1215C DC/DC/DC
Paquete de programación	Step 7 V13 SP1 o Superior
Voltaje de alimentación	24 VDC
Disipación de potencia	12 W
Memoria de trabajo	100KB
Memoria de carga	4 MB expansible con SD card
E/S digitales integradas	14 entradas y 10 salidas
E/S analógicas integradas	2 entradas y 2 salidas
Área de marcas	8192 bytes
Ampliación de módulos de señales	8 SMs máximo
Ampliación de módulos de comunicación	3 CMs máximo
Tipo de interfaz	Profinet / ethernet / aislada
Dimensiones	130 x 100 x 75 mm

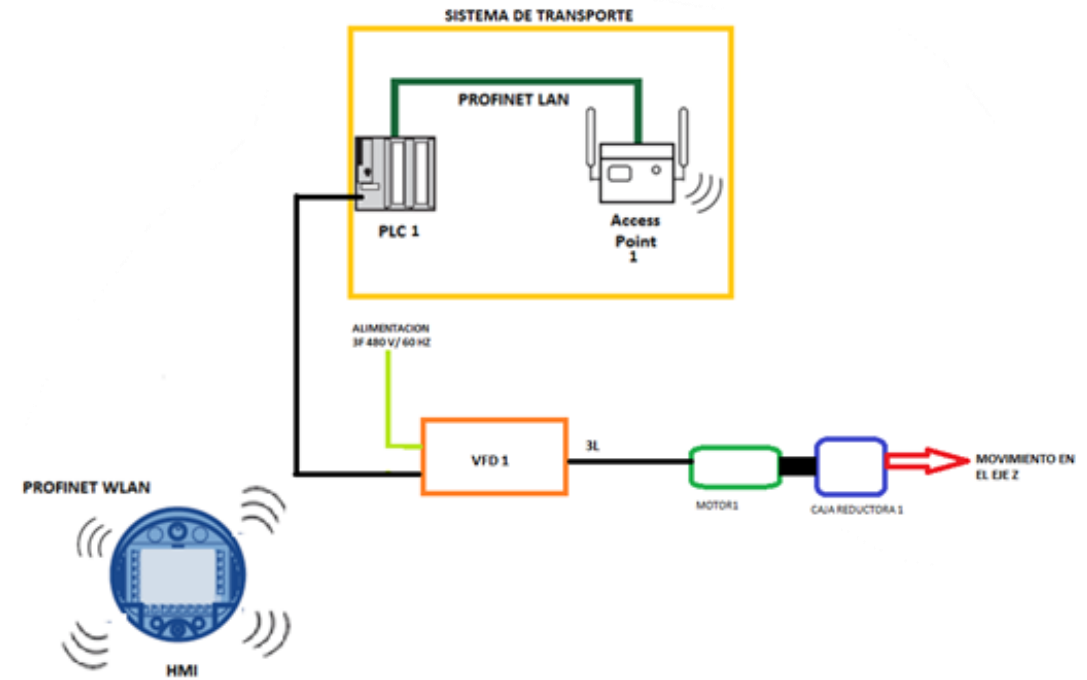




# TOPOLOGÍA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

El control del sistema de transporte emplea una pantalla inalámbrica touch la cual comanda las acciones que realizara el controlador.

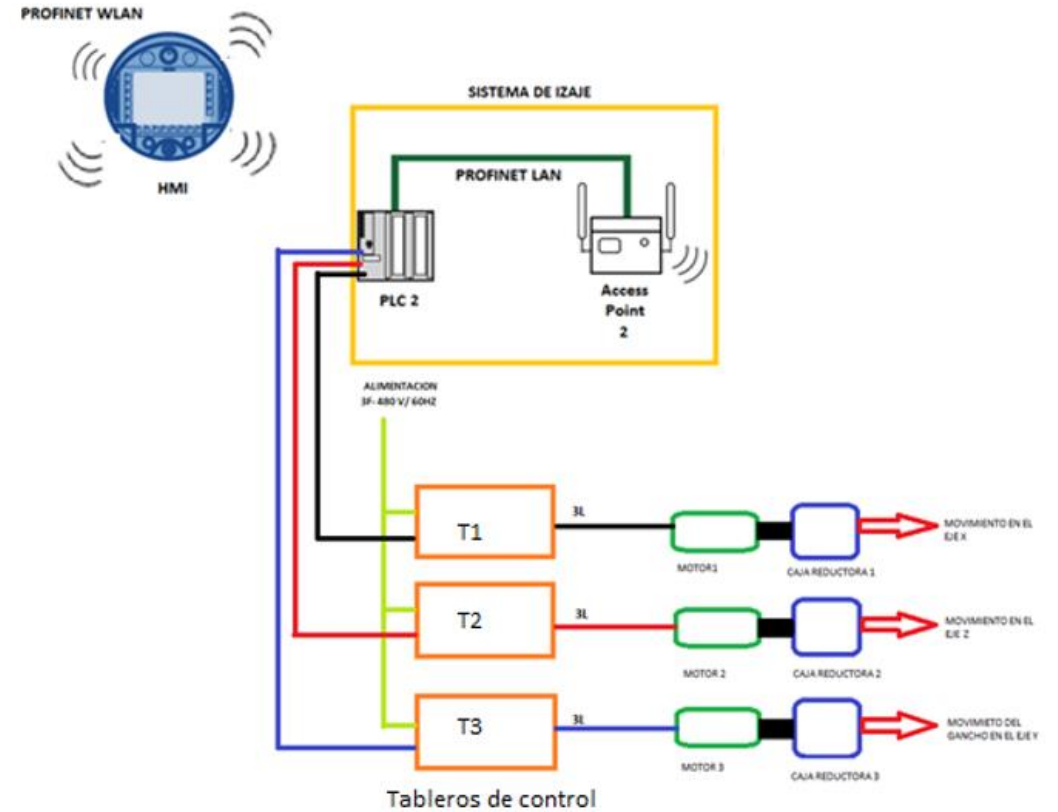
La comunicación entre el PLC y el Access Point se establece mediante el protocolo Profinet, utilizando conectores RJ45, el punto de acceso sirve como elemento de enlace entre el PLC y el Panel mobile.



# TOPOLOGÍA DEL SISTEMA DE IZAJE

El sistema de izaje al ser un sistema de control más complejo, se hará uso de los tableros de control actuales, la lógica cableada actual será intervenida por el control de las salidas del PLC, en la figura 41 se muestra el esquema de conexión de los equipos de este sistema.

Al igual que el sistema del coche transportador, el Access Point sirve de elemento de enlace para la comunicación entre el PLC y el Panel Mobile HMI, gracias a este método de comunicación se puede enlazar y controlar el sistema del puente grúa y el coche transportador con el mismo Panel HMI.



- El manejo del coche transportador tendrá un modo de operación local y remoto, en el caso del coche transportador el selector se ubicará en el tablero de control.
- El manejo del puente grúa tendrá un modo de operación remoto, local y cabina, y el selector estará ubicado en la cabina del puente grúa.
- Para realizar la operación desde la cabina, el selector deberá estar en la posición “Cab”, cuando el selector este en posición “Botonera” esta habilitara el control desde la botonera colgante y desde el panel HMI, sin embargo, cuando desde el panel se desee operar el puente grúa, este deshabilitará el control por botonera, restringiendo a un solo modo de manejo, ya sea: cabina, botonera o panel.

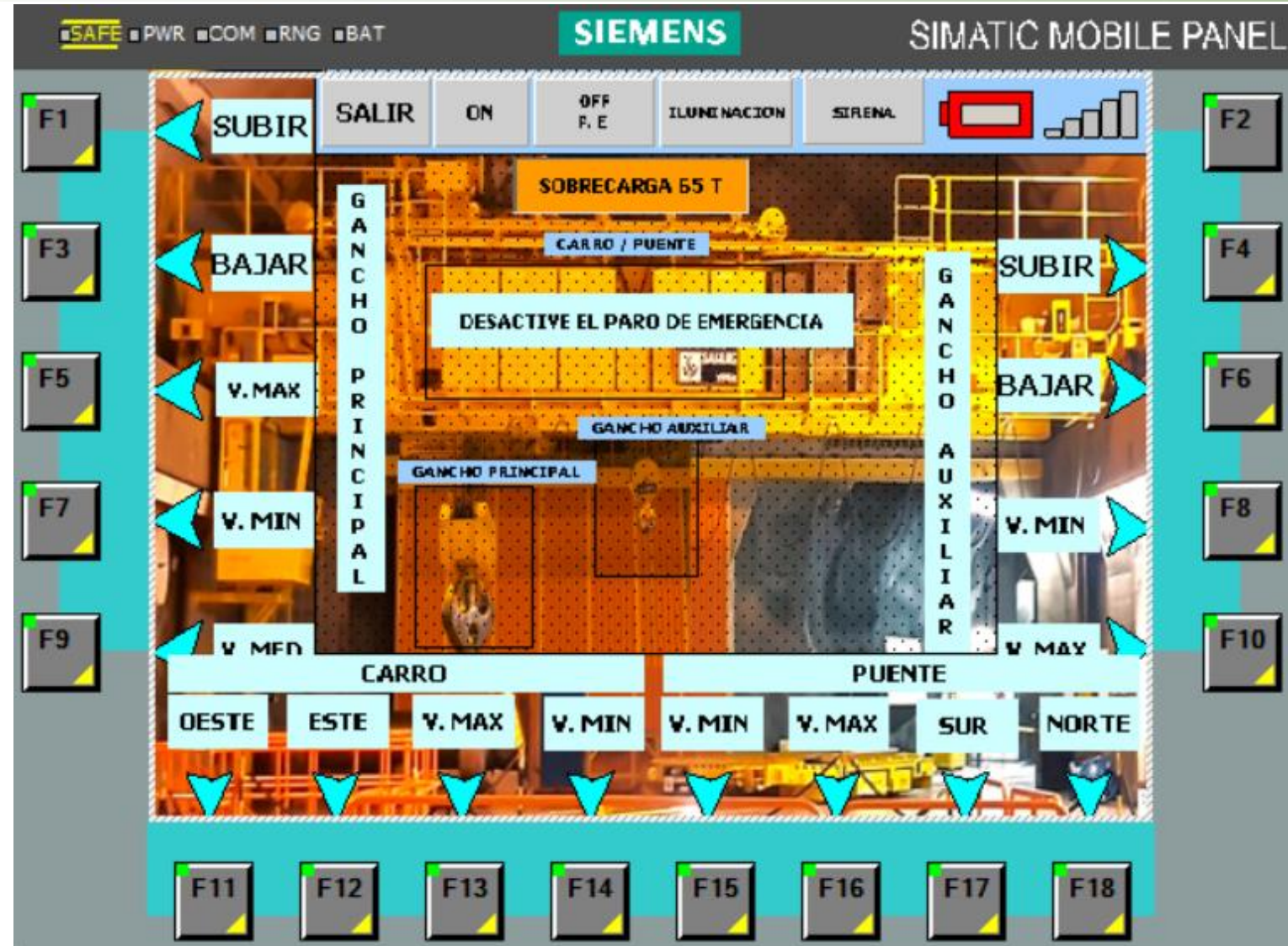
# DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI



# DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI



# DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI



Para que exista la comunicación entre los dispositivos de la red, estos deben tener un “nombre propio” para que cuando se quieran enviar datos desde el panel a cada uno de los sistemas, estos se envíen por la dirección correcta y no exista conflicto con la transferencia de información.

## Direcciones IP de los dispositivos de la red

### Sistema de transporte

Equipo	Nombre	Dirección	Subred
PLC S7-1200 1212C	TRANSPORTADOR	192.168.0.1	255.255.255.0
Scalance W786-1 RJ45	scalance103	192.168.0.103	255.255.255.0

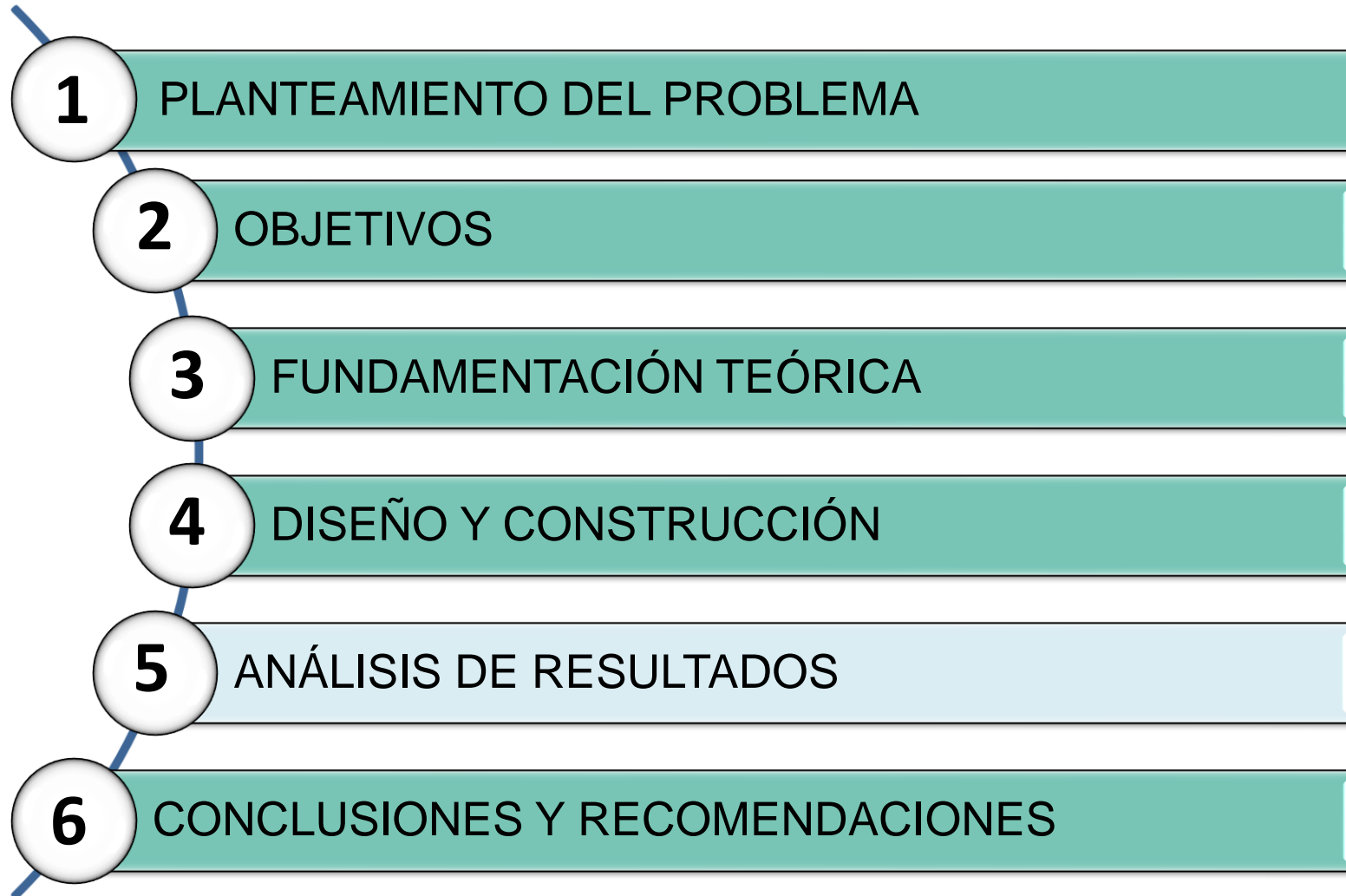
### Sistema de izaje

Equipo	Nombre	Dirección	Subred
PLC S7-1200 1215C	PLC1_PUENTE GRUA	192.168.0.22	255.255.255.0
Scalance W786-1 RJ45	scalance101	192.168.0.101	255.255.255.0

### Panel operador 277 WLAN V2

Equipo	Nombre	Dirección	Subred
Mobil panel	HMI_1	192.168.0.45	255.255.255.0

# AGENDA:





# SISTEMA DE TRANSPORTE

En esta sección se realizará las pruebas la comparación de resultados entre el sistema de control anterior y el actual, se considerarán variables de tiempo y ciclos de trabajo como método de comparación.

Durante las pruebas realizadas se determinó que las frecuencias óptimas para el trabajo a velocidades distintas del coche transportador son:

Velocidad	Frecuencia Hz	Velocidad en m/s
Baja	30	0.064
Media	45	0.121
alta	70	0.231

## SISTEMA DE TRANSPORTE

En base a las pruebas iniciales de funcionamiento y configuración del variador se puede lograr avances del coche transportador a velocidades considerables, el variador al ingresar estos valores en su configuración no presenta ninguna anomalía en su funcionamiento interno.

Después de la configuración de las velocidades y frecuencias de trabajo se realizó la prueba de funcionamiento en comparación con el sistema de control anterior.

Numero de prueba	Tiempo de trabajo (s)		Tiempo de ahorro (s)	Porcentaje de ahorro
	Sistema antiguo	Sistema nuevo		
	1	240.36		
2	240.35	182.2	58.01	24.16%
3	240	182.1	57.81	24.08%
4	239.8	182.3	57.58	24%
5	240.07	181.0	59.65	24.78%
6	240.6	182.11	58.5	24.3%
<b>Promedio</b>	<b>240.3</b>	<b>182.0</b>	<b>58.3</b>	<b>24.2%</b>



La central hidroeléctrica Agoyán contempló durante su construcción la necesidad de contener un sistema de transporte e izaje para poder manipular de mejor manera los elementos, componente, equipos, repuestos, maquinaria y personal que hiciera necesario para los mantenimientos de las unidades generadoras.

Una vez construido e implementado los elementos de control y comunicación del sistema de izaje se han realizado las siguientes pruebas.

- Prueba de monitoreo de datos
- Tiempo de respuesta para la activación de movimientos
- Prueba de protección

# TIEMPOS DE RESPUESTA DE LOS MOVIMIENTOS DEL SISTEMA DE IZAJE

Distancia	Movimiento		Tiempo de respuesta	Funcionamiento del sistema de control
	del puente grúa	Pulsaciones		
De 10 a 80 metros	Norte	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Sur	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Este	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Oeste	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Gancho principal UP	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Gancho principal Down	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Gancho auxiliar UP	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz
	Gancho auxiliar Down	Continua/ manual	Instantáneo	Eficaz

<b>Distancia (m)</b>	<b>Recepción de señal % entre Panel y Red</b>	<b>Recepción de señal % entre puntos de acceso</b>
10	100	70
30	100	65
50	95	60
80	90	55

# AGENDA:

- 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2 OBJETIVOS
- 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# CONCLUSIONES

- Se diseño y construyo un sistema de control inalámbrico para el sistema de izaje y transporte de casa de máquinas de la central hidroeléctrica Agoyán.
- Se estudio el funcionamiento del estado actual del sistema de izaje y transporte para su posterior intervención.
- Se realizo la comparación entre los métodos de control antiguos de lo sistemas de izaje y transporte.
- Se realizo un estudio técnico para la selección de los dispositivos electrónicos y de control que satisfacen las necesidades del proyecto y ayudan a monitorear las variables del proceso.
- Se diseño una topología de red que garantice las prestaciones de calidad de recepción de señal inalámbrica y mantenga la comunicación entre autómatas, Access Point y Panel operador HMI.

# CONCLUSIONES

- Se diseño y programo el panel operador 277 IWLAN utilizando el software TIA portal de siemens.
- Se diseño la interfaz hombre- maquina HMI para advertir a los operadores sobre el estado y funcionamiento de los sistemas de izaje y transporte
- Se implemento el sistema de control inalámbrico del sistema de izaje y transporte de casa de máquinas de la central hidroeléctrica Agoyán.
- Se elaboro un manual de usuario para dotar de información técnica al personal de mantenimiento sobre la manipulación y configuración de equipos
- Se comprobó que los dispositivos de la red inalámbrica presentan gran. confiabilidad, fiabilidad y robustez ante evento propios del entorno industrial.



# CONCLUSIONES

- Se diseño y programo el panel operador 277 IWLAN utilizando el software TIA portal de siemens.
- Se diseño la interfaz hombre- maquina HMI para advertir a los operadores sobre el estado y funcionamiento de los sistemas de izaje y transporte
- Se implemento el sistema de control inalámbrico del sistema de izaje y transporte de casa de máquinas de la central hidroeléctrica Agoyán.
- Se elaboro un manual de usuario para dotar de información técnica al personal de mantenimiento sobre la manipulación y configuración de equipos
- Se comprobó que los dispositivos de la red inalámbrica presentan gran. confiabilidad, fiabilidad y robustez ante evento propios del entorno industrial.

# RECOMENDACIONES

- Si la comunicación entre los dispositivos se pierde se recomienda revisar las direcciones IP de cada, así como el nombre de red al que se encuentra conectado el panel HMI
- Antes de iniciar las operaciones con el panel operador se recomienda verificar que el punto de acceso scalance101 se encuentre encendido y la conexión on su antena no se haya modificado.
- Para la manipulación del sistema de izaje se recomienda que los dos puntos de acceso se encuentren encendidos y la antena auxiliar del scalance103 este conectado.
- Al momento de encender el panel operador verificar que la pantalla de advertencia imprima el aviso de conexión establecida y de área conectada.
- Se recomienda que antes de cada manejo el panel operador cuente con nivel de batería superior al 70%.

# RECOMENDACIONES

- Antes y después de cada operación se recomienda que el panel operador se sostenga en las estaciones de carga instaladas en el piso de máquinas.
- Se recomienda dotar a este nuevo sistema de un par de baterías extra para que no se interrumpa el control por panel.
- Se recomienda revisar las precondiciones de uso de cada sistema antes de cada intervención para evitar un mal funcionamiento del panel.
- Se recomienda apagar la pantalla del panel operador si cada actividad va a tomar más de 2 minutos, esto con la finalidad de aumentar el tiempo de vida del panel operador.

# RECOMENDACIONES

- Antes de operar cada sistema se recomienda que el operador se ubique a una distancia considerable de al menos 10 metros con la finalidad de que el operador mantenga un control visual de los elementos que este manipulando.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en  
Electromecánica

Modernización del sistema de izaje 150 toneladas y transporte 40 toneladas de casa de  
máquinas de la central hidroeléctrica Agoyán mediante un sistema de control inalámbrico en  
CELEC-EP Unidad de Negocio Hidroagoyán

Autor:

Puca Lalaleo, John Henry

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo, *Director*

