

**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

FACULTAD DE INGENIERIAS

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA

**Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero Electrónico**

***“MODERNIZACION DEL SISTEMA DE REGULACION
DE VELOCIDAD EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA
CARLOS MORA”***

AUTOR:

Jorge Andrés Carrera Orellana.

DIRECTOR:

Ingeniero Iván Escandón

Cuenca, 5 de diciembre de 2011

DEDICATORIA

“Señor; el pasado a tu misericordia, el futuro a tu providencia, el presente tu amor; tu sabes señor que lo único que tengo es el día de hoy para amarte y por ti a quienes me has dado. Amen”

Esta Tesis va dedicada con todo mi cariño a Jesús, a la Generala y a la Coronela por ser los pilares fundamentales de mi vida y no desampararme jamás.

A mis padres Jorge y Sonia, por todo ese apoyo y cariño dado por ver cumplido mi sueño realidad, pues ustedes me enseñaron no ser un profesional sino una persona con defectos y virtudes y a crecer con paciencia, humildad y amor, dios les pague y les bendiga siempre.

A mis hermanas, por ser siempre la luz de mi vida y mi alegría siempre, estar junto a mí en los momentos más difíciles y ser una fortaleza fundamental en mi camino, siempre agradeceré a dios tener un par de angelitas a mi lado como son ustedes, les quiero mucho. A mis ángeles del cielo, abuelo vichi y Rafa, que me apoyaron y siempre los llevé en mi corazón, ustedes vieron ya mi camino trazado y hoy lo estamos celebrando juntos.

A mis “ñaños” de vida, Toño, Abogado, Joshe, Juanpa, Andrea, Veris, Fanny, Dany, Felipe, William, Diani, Pablin, Marce, Carlos, Pedrinchi, Angy, Omar, Vale, Richi, mi gran amigo Marcelito Farez, mi maestro y amigo Willman Gonzales; a ustedes mi corazón y mi cariño siempre, gracias por estar conmigo a cada momento y ser parte de mi vida les quiero mucho.

Sobre todo a ti mi “chiqui” porque llegaste a mi vida para llenarla con tu presencia y darle luz y sentido, por ser mi corazón y el amor verdadero de mi vida, te quiero demasiado mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer con todo el corazón y de manera muy sincera a mi director de tesis, Ing. Iván Escandón por todo su esfuerzo, paciencia y dedicación, su motivación fue un pilar fundamental en mi formación como investigador.

A su vez, un agradecimiento al Ing. Wilson Vivanco Presidente de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A., al Ing. Rafael Cardoso Superintendente de Generación y al Ing. Daniel Arciniegas Jefe de la central Carlos Mora Carrión, por todo el apoyo Brindado y los grandes consejos que hicieron posible realizar esta utopía.

También agradecer, Al Ing. Fausto Cevallos y al Ing. Rodrigo Villavicencio, Funcionarios de PACACEVI, por su valioso apoyo brindado, pues su aporte final a esta tesis hizo posible su culminación.

Finalmente a mis compañeros de la empresa SENEREC CIA. LTDA. Por toda la paciencia y el cariño en cada una de mis metas logras.

Para ellos,

Muchas gracias por todo, díos los bendiga siempre.

Jorge Andrés

DECLARACION DE AUTORIA

Yo, Jorge Andrés Carrera Orellana, alumno de la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingenierías de la Carrera de Ingeniería Electrónica, libre y voluntariamente **DECLARO** que el presente proyecto ha sido elaborado en su totalidad por mi persona, asumiendo la responsabilidad de la autoría. El presente documento ha sido preparado como requerimiento del Título de Ingeniero Electrónico.

Cuenca, 5 de Diciembre del 2011

Jorge Andrés Carrera Orellana

CERTIFICACION

Yo, Iván Marcelo Escandón, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingenierías de la Carrera de Ingeniería Electrónica, libre y voluntariamente **CERTIFICO** que el presente proyecto ha sido dirigido en su totalidad por mi persona. El presente documento ha sido preparado como requerimiento del Título de Ingeniero Electrónico.

Cuenca, 5 de Diciembre del 2011

Iván Marcelo Escandón.

INTRODUCCION

Actualmente, el sector energético ecuatoriano, las plantas hidroeléctricas en su mayoría fueron fabricadas en un periodo de 30 años atrás, debido a que estas plantas cuentan con reguladores de velocidad robustos y obsoletos, se proyectará en realizar un modelo para mejorar dicho sistema.

A través de este proyecto se pretende dar una solución, realizando un estudio detallado, para que en un futuro y con costos asequibles se pueda implementar físicamente dicho proyecto, teniendo en cuenta que el mismo debe cumplir con estándares y adaptación a los equipos existentes.

Por medio de este estudio se optimizará la vida útil del generador, así como un incremento en la producción anual de energía, dando más eficiencia, mejorando el mantenimiento y operación de la unidad, también incrementará la seguridad y los pasos de agua y a su vez un control mejorado en la precisión y estabilidad. Teniendo en cuenta los recursos se pretende agilizar y optimizar los procesos de la central y a su vez facilitar la tarea de mantenimiento y operación del generador

En cada uno de los capítulos detallamos paso a paso los cambios a realizarse, en el capítulo 2 se enfoca en un estudio general del regulador existente y los componentes de la central, partes y componentes, a su vez, pruebas y fallas existentes del mismo.

En el siguiente paso, enfocamos en los diseños del regulador electrónico, para lo cual se realizan pruebas, estudios y análisis de parámetros de la central, tomando en cuenta las características y eficiencias de la misma

Por último, analiza las pruebas y puestas en servicio para una respuesta eficiente, concluyendo con un análisis de los resultados obtenidos.

CONTENIDOS

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos.....	III
Declaración de autoría.....	IV
Introducción	V
Índice.....	VI

INDICE

CAPITULO I SISTEMA DE GENERACION

	Pág.
1.1 Introducción	2
1.2 Sistemas de Generación	2
1.2.1 Turbinas hidráulicas	2
1.2.2 Generador Principal.....	8
1.2.3 Transformador Principal	14
1.3 Regulador de Velocidad.....	17
1.3.1 Calibración	18
1.3.2 Regulación.....	20
1.3.3 Protecciones	22

CAPITULO II ESTUDIO Y ANALISIS DE REGULADOR DE VELOCIDAD

	Pág.
2.1 Descripción General.....	25
2.1.1 Descripción Operativa o funcional.....	25
2.1.2 Estabilización, Sincronización	30
2.1.3 Bombas, Válvulas.....	33
2.2 Estado Actual.....	36

2.2.1	Descripción Geográfica.....	36
2.2.1.1	Descripción proceso de generación	36
2.2.2	Detalle de equipos principales de unidades de generación 1 a 3.....	38
2.2.3	Descripción de control y funcionamiento de la central	44
2.2.4	Estado actual del regulador de velocidad del grupo 2.....	48

CAPITULO III DISEÑO DE UN REGULADOR ELECTRONICO

	Pág.
3.1 Características del Regulador electrónico	53
3.1.1 Generalidades	53
3.1.2 Especificaciones técnicas	58
3.1.3 Instrumentos y equipos a Usarse	64
3.2 Diseño del diagrama electrónico	66
3.2.1 Generalidades	66
3.2.2 Objetivo y alcance	66
3.2.3 Criterio de diseño	67
3.2.3.1 Instrumentación y Descripción Operativa	74
3.2.3.2 Descripción Operativa	80
3.2.3.3 Unidad Hidráulica	88
3.2.3.4 Control, automatización y equipos	95
3.2.3.5 Ventajas de la Rehabilitación Completa.....	101

CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS

	Pág.
4.1 Conceptos.....	104
4.1.1 Generalidades	104
4.1.2 Diagrama de flujo para el sistema del regulador digital grupo 2.....	104
4.2 Pruebas y puesta en servicio.....	106

4.2.1	Pruebas en agua muerta.....	107
4.2.2	Pruebas dinámicas en vacío.....	113
4.2.3	Pruebas con carga.....	118
4.3	Verificación y resultados	121
4.3.1	Ajuste de regulador de posicionador	121
4.3.2	Ajuste de regulador de velocidad	123
4.3.3	Ajuste de regulador carga-velocidad.....	124
4.3.4	Ventajas y desventajas del nuevo regulador respecto al FD 50 del grupo 2	125
4.4	Presupuestos Referenciales	126
4.4.1	Rehabilitación completa.....	127
4.4.2	Presupuesto referencial	127
4.4.3	Presupuesto comparativo entre reguladores electrónicos de la marca VATECH y REIVAX	128

CAPITULO V CONCLUSIONES

	Pág.	
5.1	Conclusiones acerca del regulador de velocidad	131
5.2	Conclusiones acerca el Regulador electrónico de velocidad.....	132
5.3	Conclusiones prueba y verificación resultados.....	133
	BIBLIOGRAFIA.....	136
	ANEXO 1	139
	ANEXO 2	141
	ANEXO 3	143
	ANEXO 4.....	155

CAPITULO 1

SISTEMAS DE GENERACION

1.1. INTRODUCCION

La falta de recursos energéticos fiables es limitante del desarrollo social de un país. Sin embargo en el Ecuador, a pesar de que dispone de un buen sistema energético, no cubre las necesidades de todo el territorio nacional, específicamente el 40%, cubriendo grandes centros de consumo urbano y con un reducido abastecimiento a la población rural.

Las zonas aisladas no interconectadas al Sistema energético nacional poseen un desarrollo limitado y deficientes servicios públicos, mitigados de manera mínima con el uso de plantas térmicas, caracterizadas por un alto costo del Kwh generado.

1.2. SISTEMAS DE GENERACION

Una de las partes más importantes de una central eléctrica, son los sistemas de generación, ya que constituyen el corazón de la central y están encargadas de la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica.

A continuación detallaremos paso a paso cada una de ellas.

1.2.1. TURBINAS HIDRÁULICAS

a. Generalidades

Una de las partes más importantes de la planta de generación, de la cual depende el rendimiento y el buen servicio, es sin duda la turbina hidráulica. Encargada principalmente de transformar la energía cinética en un torque mecánico que es transmitido a un eje de rotación y que es acoplado a su vez al rotor del generador.

Para definir qué tipo de turbina se debe usar, se determina ciertos parámetros entre los cuales son: la altura de carga disponible, la máxima potencia útil en caballos fuerza (HP), flujo de agua a través del rodete y la velocidad de rotación. En los

últimos tiempos se han construido 3 tipos de turbinas, siendo estos sus valores nominales¹:

TIPO DE TURBINA	KAPLAN	FRANCIS	PELTON
Salto neto, H(m)	2...70	2...500	40...100
D.E del rodete (m)	1...10	1...7	0,5...5
Potencia en eje	Hasta 250	Hasta 750	Hasta 400
Velocidad específica	400...800	50...450	20...40

Tabla 1. Características de los tipos de turbinas.

Fuente: (VERDUGO, 2002)

En el presente proyecto, se enfocará más en el estudio claro y detenido de la turbina Pelton que es la que se encuentra en la central Carlos Mora. Siendo estas sus principales características

Tipo:	Pelton eje horizontal
Potencia:	600 KW
Caudal máximo:	0,540 m ³ /seg.
Revoluciones:	720 rpm
Rendimiento:	88,6%
Rotación:	Sentido anti horario visto desde nivel superior.
No. de Inyectores:	2
Material:	73% Acero inoxidable 13% Cromo; 14% Níquel.

Tabla 2. Características turbina Pelton Grupo 1 y 2

Fuente: (VERDUGO, 2002)

La turbina Pelton, es usada en grandes alturas y caudales pequeños, se las emplea en saltos desde 60 hasta 1500m, consiguiendo rendimientos de hasta el 90%.

¹ VERDUGO, L. (2002). *Análisis y diagnóstico del sistema de excitación y construcción de un prototipo calibrador para el sistema de control del regulador de tensión de la Fase C de la Central Hidroeléctrica Paute.*

b. Elección del tipo de turbina

Para la elección de la turbina a usarse en una central hidroeléctrica, se consideran parámetros tanto geográficos, físicos y técnicos, entre ellos, se considera la potencia de generación para cada unidad tomando en atención la demanda de carga, a su vez, la economía del sistema y la calidad del servicio a brindar.

Además, se debe conocer las fluctuaciones probables a la altura de carga H , el valor medio de estiajes y determinar la *altura critica* para cada tipo de turbinas.

c. Partes de la turbina

1. Rodete

El rodete es un elemento que al girar por acción de un chorro de agua genera potencia al eje. El principio de funcionamiento del rodete está basado en la orientación del chorro de agua mediante el inyector, tomando así contacto con los álabes al ingresar el rodete, proporcionando un primer impulso de giro para luego atravesar el interior del mismo y tomar contacto nuevamente con los álabes dándole un segundo impulso antes de salir y fluir por la descarga de la turbina.

El rodete de la central Carlos Mora está constituido por 18 álabes que tienen la forma de doble cuchara. Fundido en una sola pieza.



Figura 1. Rodete grupo 2 central Carlos mora Carrión (fotos propias tomadas en sitio)

2. Inyectores

El inyector, es la parte encargada de formar el chorro de agua, que impactará sobre los álabes del rodete. Prestan un perfil hidrodinámico de tal manera que el chorro a la salida debe ser lo más estable posible, ya que cualquier deformación de este incidirá en el desgaste de los álabes o cucharas por el efecto de cavitación.

Los inyectores, además, sirven para regular el caudal de ingreso a la turbina al variar la posición de la aguja con respecto al asiento. El deflector, es parte integrante del inyector, y cumple con la misión de desviar el chorro de agua en caso de fallas, evitando que se produzca una sobre velocidad. Este va junto al chorro separado por apenas 5 milímetros y está comandado por el servomotor.

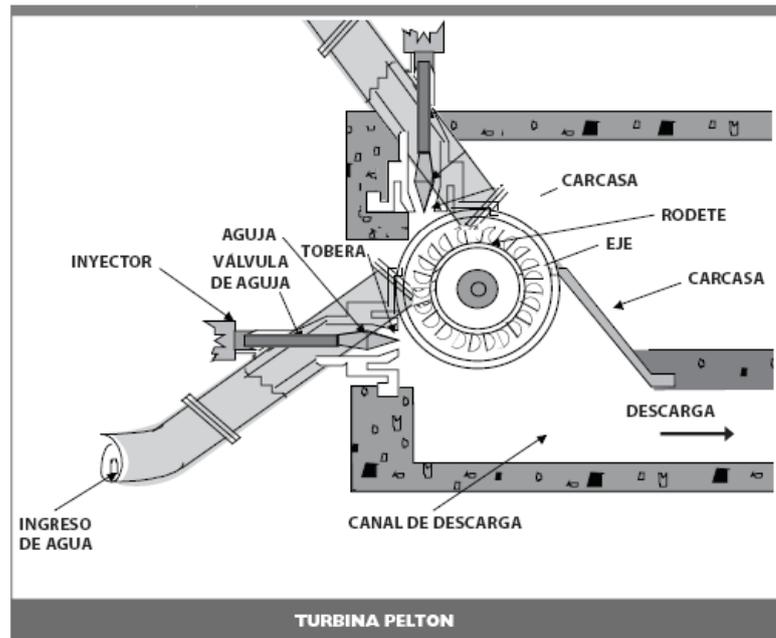


Figura 2. Partes Constructivas Turbina Pelton (Manual Operación y mantenimiento EERSSA)

3. *Tubería de entrada.*

Constituye la tubería de conexión que transforma la presión que tiene el agua en energía cinética, la velocidad va aumentando mientras va variando la sección de la tubería, llegando a tener velocidad de chorro hasta de 200m/seg.

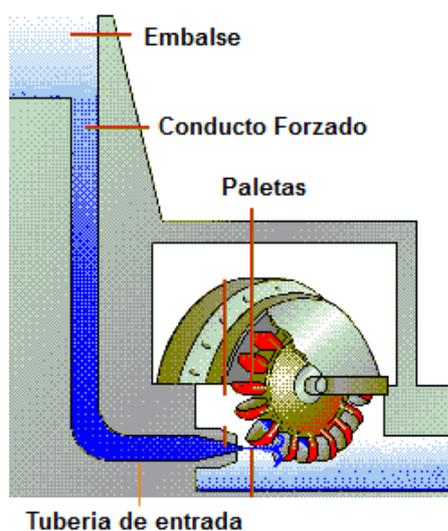


Figura 3. Partes Constructivas Turbina Pelton incluida tubería de entrada
(<http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/neuquen/poderdelrio/REPRESAS%20HIDROELECTRICAS.htm>)

4. Eje

El eje es el elemento que transmite al generador la potencia producida por la turbina, está hecho en una sola pieza con un diámetro de 500mm.



Figura 4. Eje o Acople Turbina- Generador
(<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=35951158>)

5. Cojinete guía de la turbina

El cojinete está montado en la parte superior de la carcasa Pelton y sirve de guía para la rotación de la turbina.

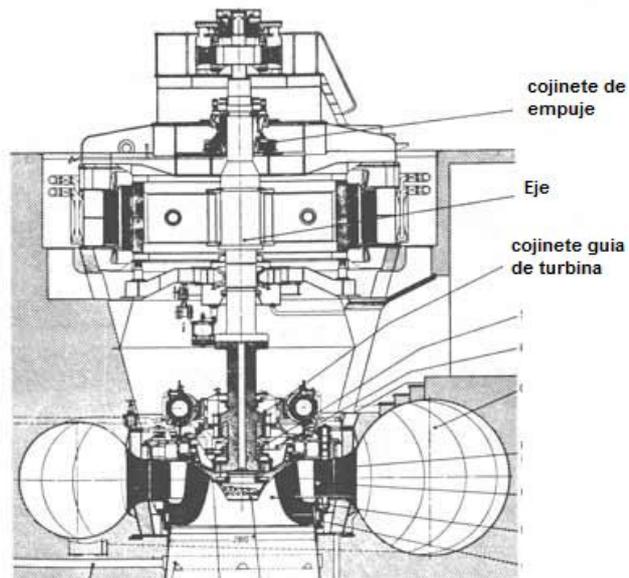


Figura 5. Cojinete guía de turbina (<http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-4.1.htm>)

1.2.2. GENERADOR PRINCIPAL

a. Generalidades

El generador es del tipo síncrono, trifásico, de eje horizontal proyectado para un funcionamiento continuo. Los generadores son de la marca alemana Siemens y tienen las siguientes características:

Potencia:	600 KW
Tensión nominal:	2,3 Kv
Corriente nominal:	188,5 A
Factor de potencia:	0,8
Frecuencia:	60 Hz
Numero de fases:	3
Velocidad de rotación:	720 rpm
Sobre velocidad máxima:	1250 rpm
Conexión Estator:	Estrella
Temperatura de Funcionamiento:	60 C
Numero de polos (Rotor):	

Tabla 3. Características Generador Grupo 1 y 2

Fuente: (VERDUGO, 2002)

El generador de corriente alterna (CA), acoplado a la turbina entrega directamente la CA inducida al circuito exterior, que la lleva en barras colectoras o buses, sea para que de ellas la tomen los circuitos de distribución primaria o de transmisión corta, sí los centros de consumo están próximos y el voltaje de generación es suficientemente alto; o bien a los transformadores elevadores, que levantan el nivel del potencial a un valor adecuado para la transmisión².

Los elementos principales de un generador son:

- **Estator.-** Conformado por: carcaza, paquete de delgas magnéticas y devanado.
- **Rotor.-** Conformado por: árbol, paquete laminar y polos.
- **Cojinete combinado.-** empuje y guía superior
- **Cojinete guía inferior.**

b. Tipo de configuración.

Proyectado con un cojinete de empuje y uno de guía superior colocados por encima del rotor y un cojinete de guía inferior. El eje está comprendido entre el acoplamiento y el cojinete de empuje.

El rotor del generador se sujeta directamente a la turbina mediante un sistema de acoplamiento instalado en el eje respectivo. Está dotado de un sistema de excitación estática.

c. Partes del generador.

1. Carcaza

La carcaza del generador, construida con láminas de acero de gran resistencia, ha sido soldada eléctricamente con procedimientos especiales siendo proyectada para cumplir las siguientes funciones:

² ZOPETTI J. *Centrales Hidroeléctricas* 1974, p.456

- Sostener el paquete magnético y los bobinados alojados en el mismo, transmitiendo de forma óptima a la cimentación los pesos relativos a las piezas mencionadas.
- Sostener la viga de empuje superior y el cojinete de empuje y guía, sobre el que actúan todas las piezas rotativas del generador incluido el eje y rueda de la turbina.

La carcaza, ha sido proyectada en amplios márgenes de seguridad de forma que sea posible la dilatación térmica durante el funcionamiento sin que se produzca deformaciones anómalas en el paquete de láminas.



Figura 6. Vista del generador (Carcaza) (fotos propias en el sitio)

2. Paquete magnético

El paquete magnético está compuesto por láminas magnéticas en forma de segmentos semicirculares con perfiles exterior e interior moldeados, esto permite, una vez, empaquetados los segmentos, obtener sobre la superficie exterior las ranuras necesarias para alojar los tirantes de prensado. Cada uno de los segmentos es aislado en ambas superficies con un baño de pintura a base de ortosfato de aluminio; este

procedimiento impide, una vez realizado el paquete magnético, la circulación de peligrosas corrientes parásitas en el interior del paquete.

3. Bobinado estator

El bobinado del estator es de tipo imbricado a doble estrato y paso corto. La conexión de las fases en estrella (Y) y la bobina está formada por dos semi-bobinas cuyos extremos están acoplados y soldados después del montaje. Cada bobina está compuesta por placas de aristas redondas, de cobre electrolítico estirado y recocido, está aún aislado con cintas de fibra de vidrio y de poliéster.

4. Árbol o eje

El cuerpo central del rotor está constituido por el eje, en acero forjado, tiene en el extremo inferior de la brida para el acoplamiento al eje de la turbina. Sobre la brida se ha recabado el collar del cojinete guía inferior. En el extremo superior del eje, se ha instalado el manguito para el cojinete de guía superior y los anillos rozantes³.



Figura 7. Rotor del generador (fotos propias en el sitio).

³ VERDUGO Luis. *Análisis y diagnóstico del sistema de excitación y construcción de un prototipo calibrador para el sistema de control del regulador de tensión de la Fase C de la Central Hidroeléctrica Paute.*

5. *Polos*

Los polos están constituidos por láminas de acero con elevadas características mecánicas y magnéticas. Estos se fijan a la corona rotor con anclaje a “cabeza de martillo” y chavetas en formas de cuñas de forzamiento.

El bobinado inductor está constituido por placas de cobre electrolítico envueltas en espiral de relieve. El aislamiento entre las espiras de las bobinas está constituido por estratos de tela de vidrio impregnados previamente con resina epoxica. Las bobinas de los polos están conectadas en serie entre ellas con conexiones constituidas por placas de cobre unidas mediante tornillos.



Figura 8. Vista de polos del rotor (fotos propias en el sitio).

6. *Anillos Rozantes*

La corriente de excitación se lleva al bobinado inductor (rotor) por medio de los anillos colectores. Están constituidos por una brújula (eje guía de rotor) de acero, en el cuál están instalados con tornillos aislados dos anillos de acero forjado.

Las conexiones entre anillos y bobinado están realizadas con conductores de cobre dispuestos dentro del orificio axial del eje.

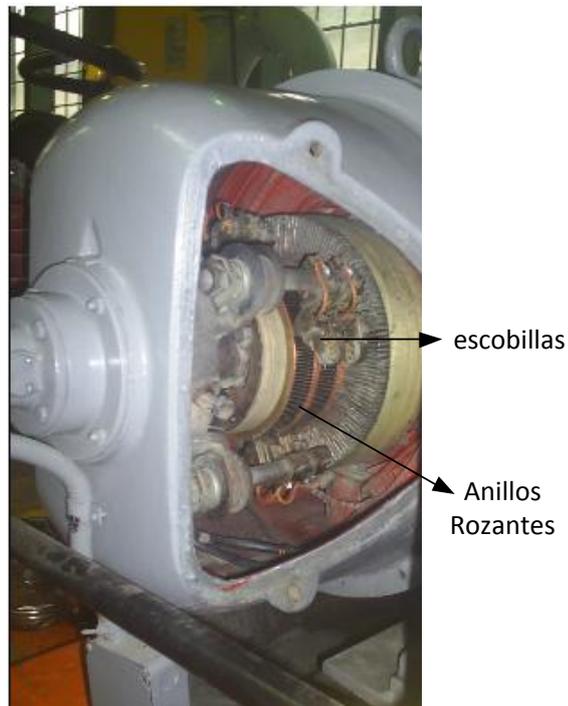


Figura 9. Vista de anillos rozantes (fotos propias en el sitio)

7. *Viga superior*

Es la estructura que, gracias al cojinete combinado superior, sostiene y guía el grupo rotor durante su rotación. Esta constituida por una parte central, que actúa como depósito de aceite de lubricación del cojinete combinado, y brazos radiales que se apoya en la parte superior de la carcasa.

8. *Viga inferior*

La cruceta inferior, es la estructura que contiene el cojinete de guía inferior del generador y sostiene el sistema de frenado y levantamiento.

d. *Potencia en el generador*

La especificación de la potencia del generador debe hacerse tomando en cuenta y definiendo con precisión el factor de potencia, la corriente, la frecuencia, la

velocidad de rotación, la conexión de las bobinas y la potencia generada. Además, se debe considerar que el máximo valor de potencia está limitado, por la máxima temperatura admisible por el aislamiento. Como el punto de calentamiento máximo es difícil de precisar, como margen de seguridad, debe ser de 5° a 15°C menor que la máxima admisible.

1.2.3. TRANSFORMADOR PRINCIPAL

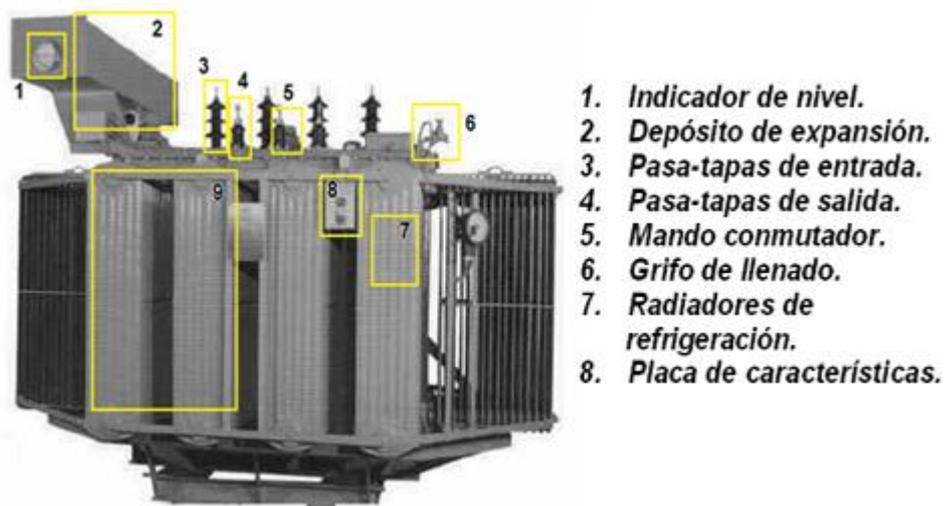


Figura 10. Partes q componen el transformador sumergido en aceite con depósitos en expansión (<http://www.mailxmail.com/curso-estaciones-energia/estaciones-transformador-potencia-sumergido-aceite>)

El transformador se encarga de elevar la tensión de generación, hasta una tensión de trasmisión de acuerdo con la potencia de generación y la longitud de transición. Para su funcionamiento correcto se requiere que el transformador conste del siguiente equipo: Interruptor de generación, transformador de potencia (TP), interruptor de trasmisión, accesorios de seguridad (seccionadores, puestas a tierra, entre otros), equipos de medida y protección.

El voltaje de trasmisión corresponde necesariamente al secundario del transformador, la operación inmediata consiste en coger el tipo de transformación

según: a) características funcionales.; b) su funcionamiento; c) su sección o número de fases; d) refrigeración.

a. Características

El transformador principal presenta los siguientes datos:

Potencia:	750 KVA
Frecuencia:	60 Hz
Número de fases:	3
Grupo de conexión:	Yd11
Enfriamiento:	Os

Tabla 4. Características Técnicas Transformador Grupo 2

Fuente: (VERDUGO, 2002)

b. Descripción y funcionamiento:

1. Devanados

El transformador se compone de 2 devanados, dispuestos a partir del núcleo de la manera siguiente:

- Devanado de baja tensión
- Devanado de alta tensión.

El enfriamiento de los devanados ya sea por ranuras horizontales, que permiten circulación de aceite entre las bobinas o por las ranuras axiales colocadas en las partes anterior y posterior de los devanados.

2. Núcleo

Está compuesto por laminaciones magnéticas con cristales orientados aislados con material denominado carlita.

3. Sistema de enfriamiento

El enfriamiento del transformador se realiza mediante la utilización de dos intercambiadores de calor con circulación forzada de aceite y agua.

4. Cambiador de TAPS

El conmutador de TAPS en vacío, se compone de un selector de tomas colocado en el interior de transformador, provisto al exterior de una manija de mando manual ubicada en la parte inferior del transformador, de manera que se pueda maniobrar desde el piso de apoyo del transformador⁴.

5. Relé Bucholtz

Este relé en condición normal de operación está lleno de aceite, al producirse una falla, se forma un gas que es liberado y acciona un contacto eléctrico que da señal de primera alarma. De persistir una falla subirá el nivel del gas y activará un contacto eléctrico, provocando el cierre del circuito de desconexión del transformador⁵.

6. Válvula de alivio

El tanque de los transformadores por contener aceite, constituye un recipiente sometido a presión, debe contener una o más válvulas de seguridad, calibradas para actuar al producirse sobrepresiones por fallas del transformador como cortocircuito u otras causas. Estas deben ser descargadas por estas válvulas para evitar daños mayores.

⁴VERDUGO Luis. *Análisis y diagnóstico del sistema de excitación y construcción de un prototipo calibrador para el sistema de control del regulador de tensión de la Fase C de la Central Hidroeléctrica Paute.*

⁵VERDUGO Luis. *Análisis y diagnóstico del sistema de excitación y construcción de un prototipo calibrador para el sistema de control del regulador de tensión de la Fase C de la Central Hidroeléctrica Paute.*



Figura 10. Transformador principal (fotos propias tomadas en sitio)

1.3.REGULADOR DE VELOCIDAD

Cuando se produce una variación en la carga de la turbina, esta reducirá o aumentará el número de revoluciones con quien estuviese en funcionamiento antes de producirse la variación, graduando, la entrada de agua, para que, se disponga en cada momento de la potencia requerida.

La misión del regulador automático consiste en conseguir el equilibrio, para mantener, sensiblemente o igual con todas las cargas, el número de revoluciones de la turbina que conviene a su funcionamiento.

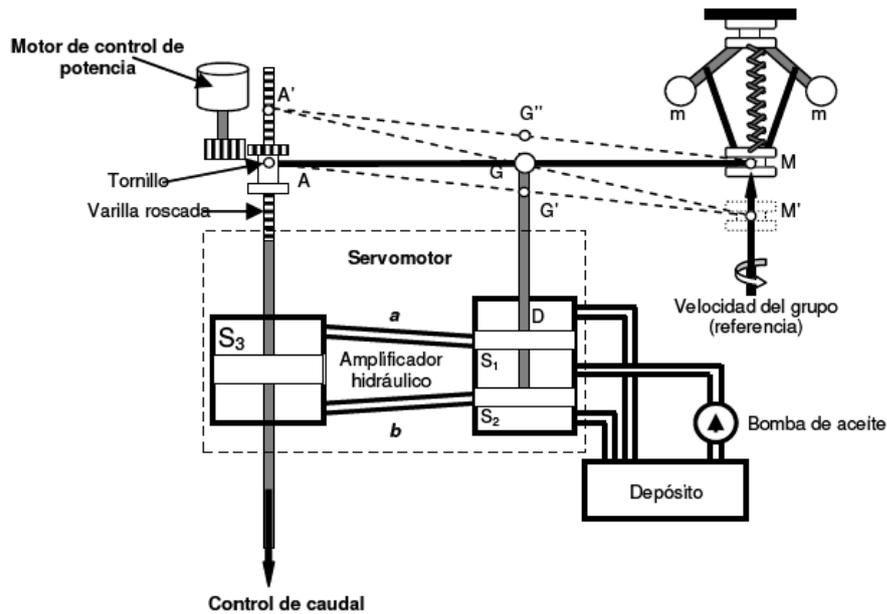


Figura 11. Esquema regulador de velocidad de una planta hidráulica
 (<http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/reguladordevelocidad.pdf>).

1.3.1. CALIBRACION

Debido al cambio de demanda constante que sufre un generador, es necesario contar con mecanismos de regulación o calibración que se adapten a todo momento a la generación de consumo. Además el regulador centrífugo que recoge las variaciones de la velocidad; También pueden actuar sobre el mecanismo de apertura y cierre de la entrada de agua.

Como ejemplo de calibración se tomará el regulador tipo Hartung-Kunh, que actúa por la fuerza centrífuga, cuanto mayor es el número de revoluciones, más elevada es la posición del manguito, y por ello, arrastra al mecanismo que actuará sobre la regulación del agua que penetrará a la turbina. Mientras más elevada esta del manguito, mayor es el número de revoluciones de la máquina⁶.

⁶ ZOPPETI JUDEZ, G. (1974). *Centrales Eléctricas*. p.147

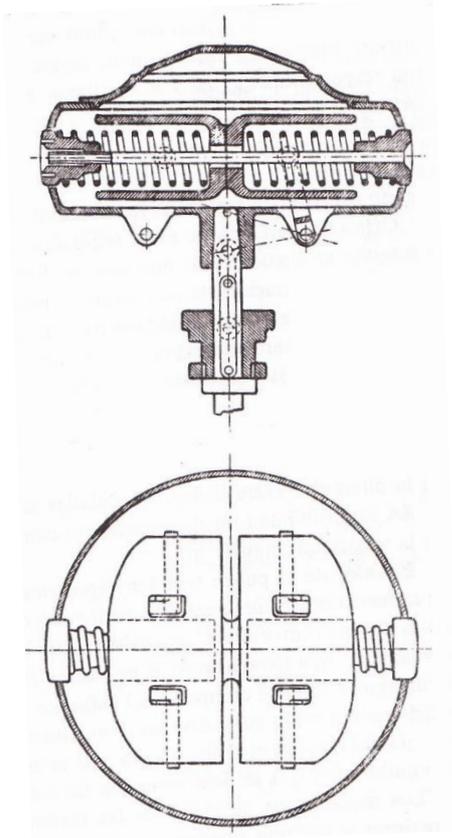


Figura 12. Regulador centrífugo Hartung-Kuhn (Centrales Hidroeléctricas Gaudencio Zopetti)

El grado de irregularidad es la diferencia entre el número de revoluciones n_2 que corresponde a la posición más alta del manguito, y el número de revoluciones n_1 que corresponde a la posición más baja respecto al número de revoluciones medio:

$$\delta = \frac{n_2 - n_1}{(n_2 + n_1)/2}$$

Esta ecuación plantea determinar el grado de desplazamiento para la variación de velocidad respecto a cambios máximos y mínimos soportados por el regulador de velocidad. Otra característica es su grado de sensibilidad.

El constructor de los reguladores, fija el tamaño y el número de revoluciones por minuto a que debe funcionar, e indica: la energía media medida (kg), la fuerza de desplazamiento media para variación de velocidad del 1% (kg); la capacidad de

trabajo para la misma variación (kg/mm), la carrera del manguito (mm) y su carrera reducida (cm)⁷.

Por otra parte, la turbina, trabaja con distinto número de revoluciones. Si estos valores, son n_a y n_b respectivamente, se llama grado de irregularidad del sistema regulador, a la relación:

$$\delta_R = \frac{n_b - n_a}{(n_b + n_a)/2}$$

1.3.2. REGULACIÓN

Los mecanismos, de cierre de las turbinas, exigen la actuación de unos esfuerzos muy superiores a los obtenidos con el regulador centrífugo, por ello, actúan sobre un servomotor, cuyo funcionamiento se da por aceite a presión suministrado por una bomba. El vástago de émbolo del servomotor se enlaza, al mecanismo de distribución de la turbina, de este modo da la regulación de la turbina, al abrir o cerrar la entrada del agua para equilibrar los trabajos de la turbina y generador.

La característica fundamental de la regulación, está basada en la curva de la elasticidad, que representa la ley de dependencia entre la velocidad del grupo y la potencia, y a su vez, el grado de apertura del distribuidor de la turbina. La regulación es *estática*, si la velocidad disminuye cuando crece la potencia, y es *isodrómica*, si la velocidad permanece constante para cualquier potencia.

Para obtener una regulación estable, el regulador debe tener una reacción lo más rápidamente posible al presentarse el efecto perturbador. En la figura 13 se puede ver las variaciones de potencia (ΔP) y las de velocidad (ΔV) en relación con el tiempo (abscisas). El paso a de un régimen a otro, se efectúa con variaciones de velocidad persistentes, por tanto, el regulador es incapaz de alcanzar de modo estable el nuevo régimen. Para este punto, dependerá el regulador del grado de apertura de la turbina y esta, ya no podrá funcionar al mismo número de revoluciones desde vacío, hasta

⁷ ZOPETTI J. *Centrales Hidroeléctricas* 1974, p.148

plena carga, porque, su número de revoluciones será diferente y por tanto también la velocidad de la turbina.

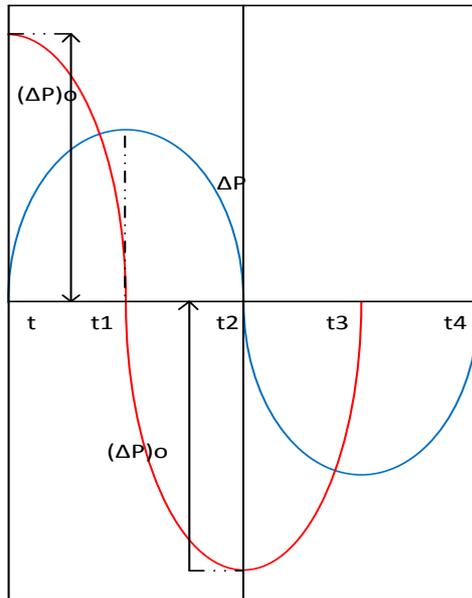


Figura 13. Esquema regulación de la turbina (Centrales Hidroeléctricas Gaudencio Zopetti)

Con el sistema de regulación estática y con el estatismo positivo, las oscilaciones de velocidad van gradualmente amortiguándose. Se aprecia este amortiguamiento en la figura 8. Por defecto del dispositivo de retorno, a la fase inicial (t_0 a t_1), sigue la fase de sobrerregulación (t_1 a t_2), que se detiene antes de retornar a la velocidad inicial.

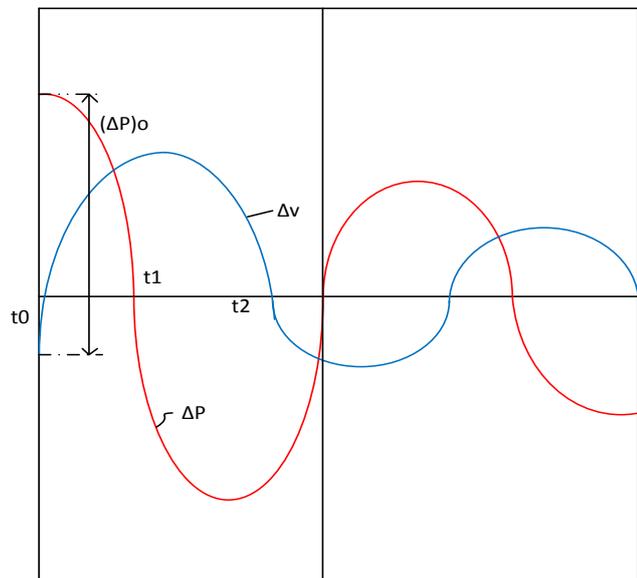


Figura 14. Esquema regulación estática con amortiguamiento (Centrales Hidroeléctricas Gaudencio Zopetti)

1.3.3. PROTECCIONES

Funcionalmente los sistemas de protecciones debe ser consideradas de:

- Un bloque de detección del desperfecto.
- Un bloque de señalización del desperfecto
- Un bloque de señalización e intervención, el mismo que coordina con la lógica externa.

Para los reguladores la protección consiste en el mantenimiento, por lo general, mantener siempre el regulador en excelente estado para que pueda trabajar siempre sin trastornos. Por lo general, se recomienda, engrasar las partes móviles, desmontar una vez al año los pistones y la válvula gobernadora para su limpieza y verificación de daños y desgaste mecánico.

Adicionalmente, revisar y mantener los mecanismos de distribución, poleas, servomotores, para que puedan moverse de manera más fácil. Tener en cuenta que las correas de accionamiento no estén muy tensadas. Y sobre todo cambiar al cabo de 1 año de servicio los lubricantes del Regulador.

CAPITULO 2

ESTUDIO Y ANALISIS DE REGULADOR DE VELOCIDAD

2.1. DESCRIPCION GENERAL

Con el objetivo de mantener constante la velocidad de las turbinas, adaptando al estado momentáneo de la carga, se emplean reguladores automáticos de velocidad a presión de aceite. En estos reguladores sirve para el control de la velocidad un “mecanismo de gobernación” con péndulo centrífugo, por cuya variación del manguito del péndulo (parte mecánica de control de regulación) se inician los movimientos del servomotor y con ello abrir y cerrar el distribuidor.

La regulación a mano sólo se emplea hoy día en instalaciones muy sencillas, en las que hay que accionar máquinas insensibles a las variaciones de velocidad. De igual manera, la regulación a mano queda restringida en casos especiales cuando la regulación de la potencia eléctrica este dada por una resistencia regulable. De este modo de regulación la potencia producida por la turbina y la velocidad se mantienen constantes conectando o desconectando dicha resistencia eléctrica.

En la central Carlos Mora, se adopta regulación doble (deflector y servomotor) en turbinas Pelton, debido a una regulación ahorrativa de agua y en su defecto, evitar golpes de ariete. Para su funcionamiento, en los procesos de descarga, introduce primero un desviador, mientras que la aguja inyectora se ajusta a la nueva carga.

2.1.1. DESCRIPCION OPERATIVA O FUNCIONAL

El principio de funcionamiento del regulador de velocidad se basa en dos procesos simples: Proceso de carga y descarga respectivamente. En los procesos de descarga se introduce primero, un desviador, mientras que la aguja inyectora por medio de su servomotor prosigue lentamente y el caudal de agua de servicio se ajusta a la nueva carga, el exceso de agua golpea o es desechada por medio del desviador. En el aumento de carga, el chorro de agua está influido únicamente por la regulación de la aguja⁸

⁸ VOITH, J. (1961). *Regulador doble FD 50 para turbinas de Chorro Libre*.

Los órganos de gobierno o control, están dispuestos de forma que al terminar cada proceso de regulación vienen a parar el desviador cerca del chorro ajustado, para poder actuar sin tardanza notable; en la figura 15, se dibuja el regulador doble FD 50 de la central Hidroeléctrica Carlos Mora, con la disposición siguiente:

- Eje regulador desviador arriba
- Eje regulador de aguja abajo
- Ejes reguladores horizontal
- Dirección de cierre aguja hacia atrás
- Desviador hacia atrás
- Servomotor de aguja a la izquierda
- Accionamiento a la derecha

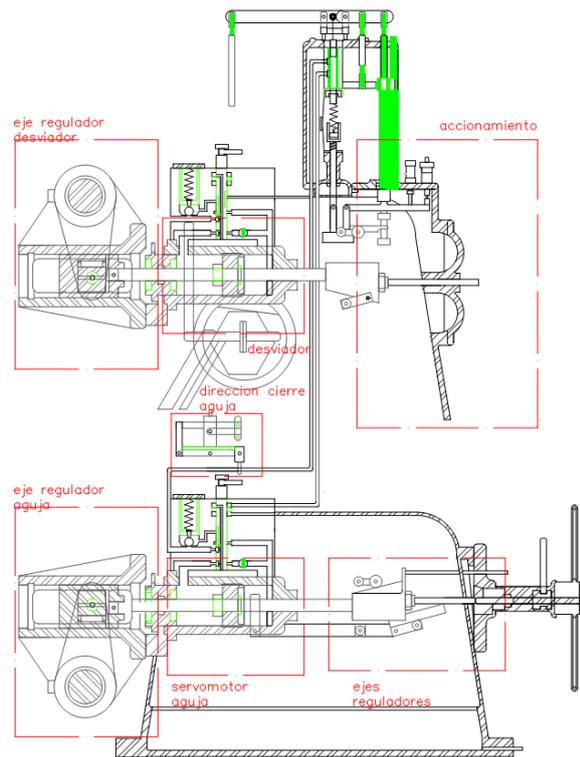


Figura 15. Descripción operativa regulador FD50 grupo 2 Central Carlos Mora (plano general Regulador)

Las funciones individuales de los elementos del regulador se pueden clasificar en 4 grupos:

1. Elementos de Regulación
2. Elementos para la provisión de aceite a presión
3. Elementos distribución de aceite a presión
4. Equipos adicionales.

1. Elementos de regulación

Comprenden los servomotores 103 y 104, las palancas 137 de regulación, la regulación a mano 124, 125 y 211 realizada con la palanca de regulación 138 mediante el eje de regulador 140 (plano anexo 1).

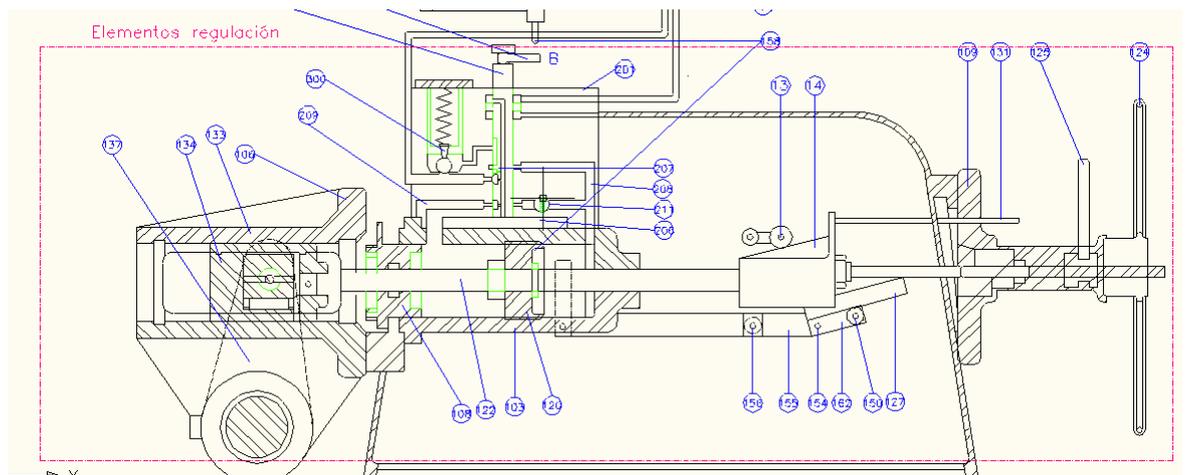


Figura 16. Elementos Regulación del regulador velocidad FD 50 Central Carlos Mora (plano general Regulador).

2. Elementos para la provisión del aceite a presión

Dos bombas de engranaje 501 y 502, proveen el aceite a presión, se distinguen en su caudal. El caudal mayor permite al desviador un movimiento de regulación más rápido (plano anexo 1).

3. Elementos distribución de aceite a presión.

a. Inicialización del proceso de regulación.

Debido a las variaciones de velocidad provocadas por oscilaciones de carga en la turbina, el sistema de regulación, actúa dando una desviación de pesos del péndulo centrífugo y un desplazamiento del manguito del péndulo 4. Por esto varía la presión del aceite del embolo de gobierno 203. El embolo de gobierno, está en comunicación forzosa con el péndulo por el vástago de retroceso de válvula 126.

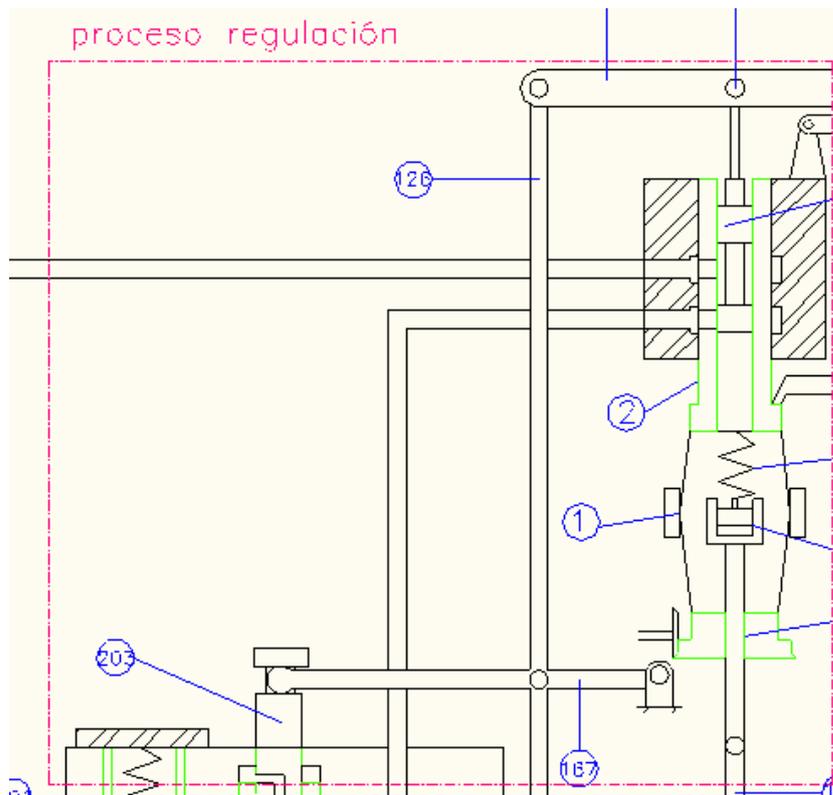


Figura 17. Elementos distribución aceite a presión (plano general Regulador).

4. Equipos adicionales.

a. Grado de permanencia de des uniformidad (no estabilización)

Debido a que cada regulador, tiene funcionamiento independiente sobre cada turbina, no es deseable ni recomendable el servicio en paralelo entre reguladores.

Sin embargo es necesario si esto ocurriese, volver a regular a igual velocidad después de cada variación de carga. Con menores cargas de la turbina se producen mayores velocidades y a la inversa. En el anexo 2 se visualiza esta disposición.

b. Ajuste de estabilidad.

Para el ajuste de estabilidad del sistema, se procede a variar la máxima tensión transitoria del muelle 19 y ajustarse el esfuerzo retro-impelente, por medio de la tuerca y husillo articulado a la biela 16 y el tirante 17 del freno de aceite.

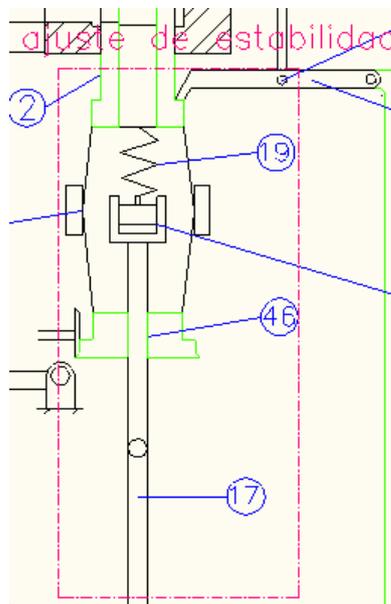


Figura 18. Ajuste de estabilidad de péndulo de regulación (plano general Regulador).

c. Ajuste grado de des uniformidad.

Se puede ajustar a voluntad dentro de ciertos límites referenciales del fabricante, la diferencia de velocidad entre plena carga y en vacío.

d. Cambio del tiempo isódromo.

Se define como el periodo de duración del juego de la regulación de la tensión del muelle estabilizador respecto a la abertura de paso de agua (aguja inyectora).

El cambio de este tiempo, depende, de la tensión del muelle estabilizador y de la abertura de paso. Esta abertura, es determinante de la isodromía, está enclavada en una boquilla obturadora, la boquilla tiene un taladro de 0,5mm con el que se logra el tiempo isódromo máximo posible.

2.1.2. ESTABILIZACION, SINCRONIZACION

Para los sistemas, que tienen elevado amortiguamiento, no se prestará a las exigencias de los generadores de corriente alterna, por variaciones de frecuencia. Por ello, estos reguladores van provistos de estabilizadores de velocidad, que permiten obtener un elevado amortiguamiento al comenzar la regulación, que se reduce a cero al terminar la regulación.

1. Estabilización

Correspondiendo a la regulación de la aguja y el deflector (regulación doble), se realizan dos movimientos de control regresivos, sobre el émbolo de control de la aguja y la espiga de control del deflector ya que por medio de estos puede existir reposo cuando retroceden a su posición media. En la figura 19 se muestra las partes que actúan para la estabilización del regulador

La interrupción del servomotor de la aguja 120 se efectúa por “retro-empuje del manguito”. Según el sentido de desplazamiento, recibe el muelle 19 tensiones o compresión y el péndulo retorna a su posición media. Si el movimiento de regulación es rápido y grande, los pasos del péndulo se separan mucho. El movimiento del desviador es proporcional a la desviación del émbolo de gobierno de la aguja 128.

Si el movimiento es lento, la válvula de control de la aguja quedará en posición media, de modo que el desviador no se mueve. Ahora, con objeto que el desviador

quede lo más cerca posible del chorro, se ha previsto de un control secundario sobre la curva de retroceso de la aguja 127⁹.

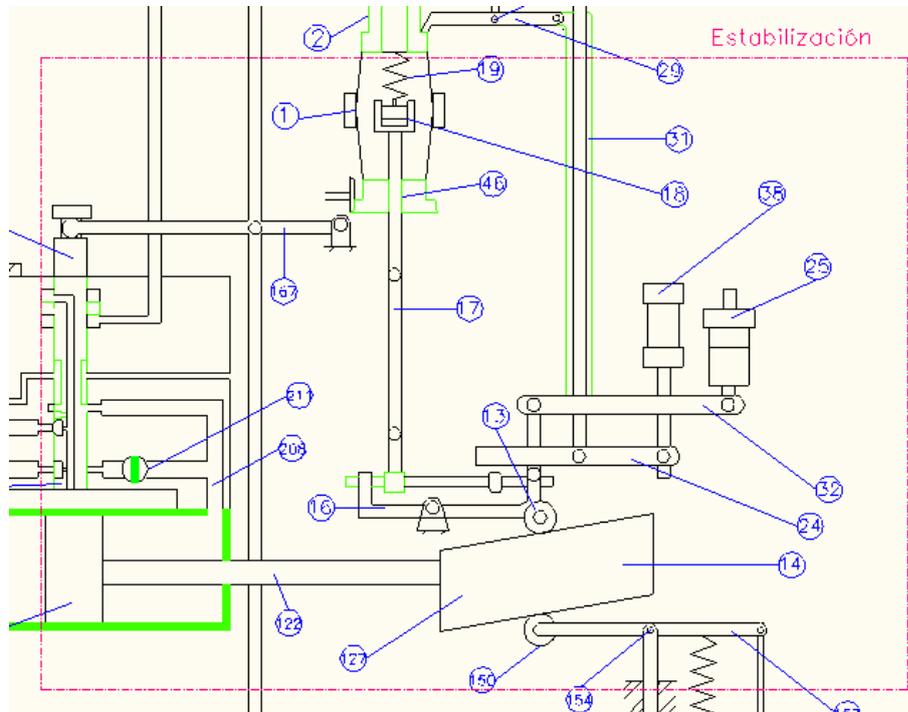


Figura 19. Partes para el sistema de estabilización (plano general Regulador).

2. Sincronización

a. Variación del número de revoluciones

La variación del número de revoluciones, se realiza a media altura del punto de giro para el variador de velocidad. Dicha variación de revoluciones, se realiza de manera manualmente por medio de la tuerca y husillo 23, a través de la palanca 24.

El comando del mismo, puede efectuarse por medio de la actuación eléctricamente desde el tablero de mando, en este caso, se acopla un pequeño motor con el eje de tornillo sin fin 41 y se actúa por un conmutador como se indica en la figura 20.

⁹ VOITH, J. (1961). *Regulador doble FD 50 para turbinas de Chorro Libre*.

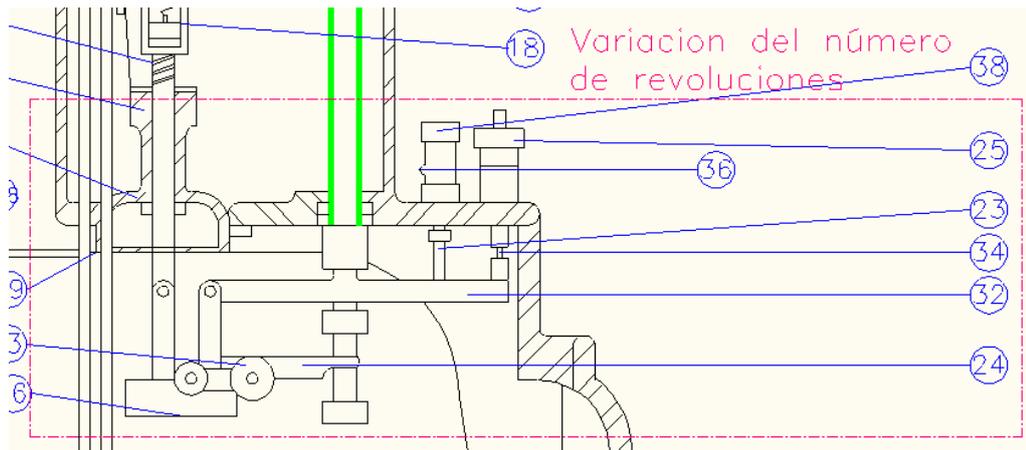


Figura 20. Elementos para Variación del número de revoluciones (plano general Regulator).

a. Limitación de abertura

Hay una limitación de abertura, para evitar que, en épocas de poca afluencia de agua o para reducir la potencia, se abra la aguja de la turbina más de una medida determinada, por medio de una palanca doble 29, que se articula a una barra hueca.

El ajuste de la limitación de abertura, se realiza en el botón 25 de maniobra por husillo 34 corriendo, punto de giro de la palanca doble de limitación de abertura 32 como se indica en la figura 21.

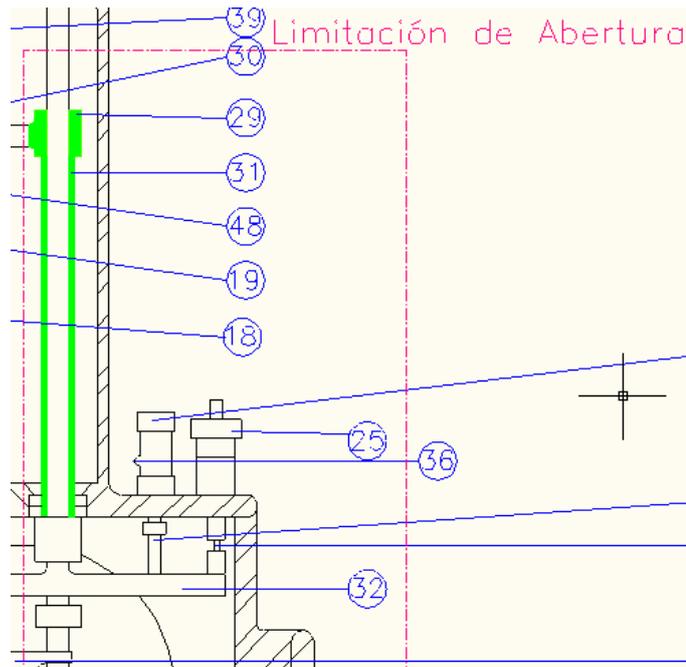


Figura 21. Elementos Limitación de Abertura (plano general Regulador)

b. Amortiguación del péndulo.

Para contrarrestar accionamientos alternados, marcha del péndulo, va en una catarata de aceite, un disco amortiguador 36, se efectúa por empuje del aceite, alrededor del disco 36. Solo debe poner en acción en casos excepcionales.

2.1.3. BOMBAS, VALVULAS.

En el regulador doble para turbinas de chorro libre se cuenta con dos bombas de funcionamiento llamadas:

- Bomba grande
- Bomba chica

Para el funcionamiento de la bomba grande 501, la bomba actúa haciendo que el aceite del depósito fluya hacia el buje y hacia el vástago del sistema del deflector.

Cuando esto sucede, inmediatamente actúa su palanca gobernadora 166, permitiendo al émbolo del servomotor 121 actuar para abrir o cerrar el deflector.

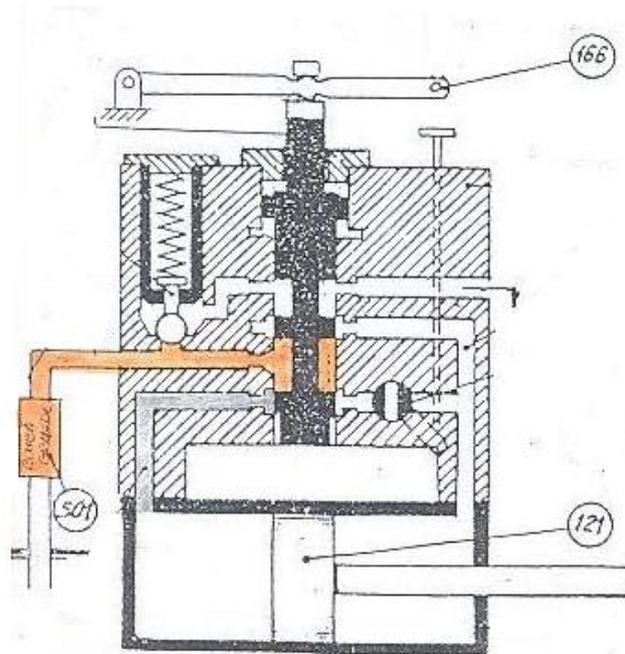


Figura 22. Sistema de actuación de la bomba grande (manual Regulator FD50 EERSSA)

Para el funcionamiento de la bomba chica 502 el aceite que fluye desde el depósito toma dos caminos, el primer camino será cuando el aceite fluya para activar el buje y el vástago del sistema de regulación de la aguja, el cual hace que actúe de manera directa su palanca gobernadora 167, permitiendo al embolo del servomotor 120 abrir o cerrar la aguja, para el siguiente sistema, que es un complemento del sistema de regulación de la aguja, el aceite circula hacia el péndulo de estabilización, cuando esto sucede, actúa la espiga pre gobernadora 37, que a su vez actúa la suspensión de la espiga pre gobernadora 3, variando el muelle estabilizador 19, haciendo que actúe aceite con presión variable y pueda actuar la válvula estranguladora para abrir o cerrar el embolo servomotor de la aguja

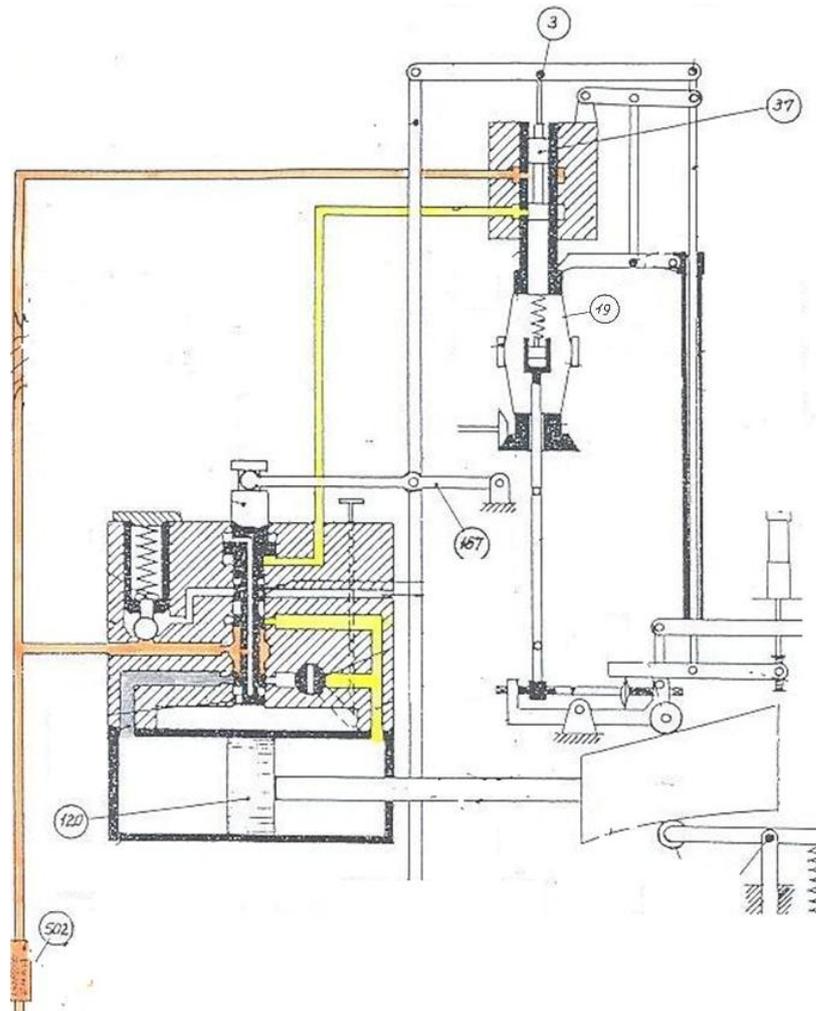


Figura 23. Sistema de actuación de la bomba chica (manual Regulador FD50 EERSSA)

Se relacionan directamente, las válvulas con las bombas de distribución de aceite. En el sistema del Deflector y Aguja, tenemos la palanca gobernadora, para la válvula del desviador 166 y la palanca gobernadora para la válvula de la aguja. En la caja de válvula de aguja 201, tenemos una válvula de seguridad 300, usada en sobrepresiones y fugas de aceite a ser liberadas.

Las palancas gobernadoras a su vez, son accionadas por el émbolo para la aguja 203 y la espiga gobernadora para el desviador 223, estas a su vez actúan sobre el canal abriendo o cerrando la válvula gobernadora de la aguja 208 y 209 para la aguja; 228 y 229 para el desviador. A su vez por el flujo del aceite, actúan directamente hacia los émbolos del servomotor de aguja 120 y del desviador 121 respectivamente. En el diagrama se muestra las partes señaladas anteriormente, sin embargo, en el anexo 2

se muestra la disposición de las partes y el funcionamiento de las válvulas del Regulador de velocidad.

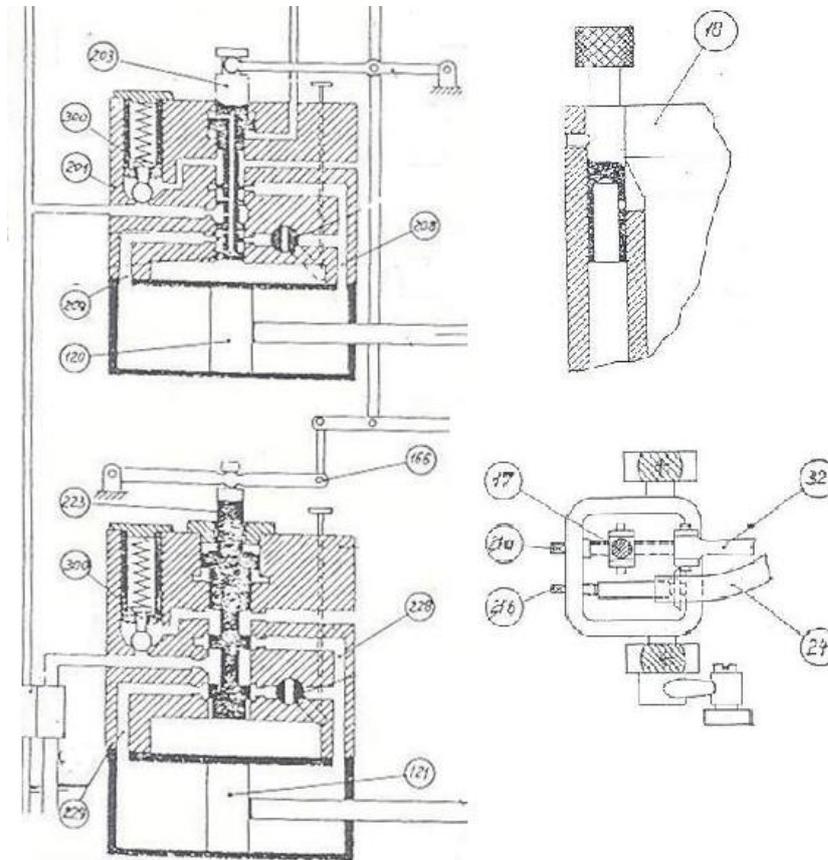


Figura 24. Elementos para las válvulas del regulador de velocidad (manual Regulador FD50 EERSSA)

2.2. ESTADO ACTUAL

2.2.1. DESCRIPCION GEOGRAFICA

La Central Hidroeléctrica Carlos Mora Carrión de propiedad de la Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA) está ubicada en el sector de San Francisco, en el kilómetro 32 de la vía Loja-Zamora.

2.2.1.1. Descripción proceso de Generación

La central Carlos mora tiene 3 grupos generadores, dos grupos son del tipo Pelton sincronizados en paralelo, cada grupo de 600 KW de potencia y un grupo tipo Francis de 1200 KW de potencia, juntos los tres grupos generan una potencia total de 2,4MW a un nivel de tensión de 2,3KV en cada grupo generador.



Figura 25. Central Carlos Mora Carrión (manual operación y mantenimiento EERSSA).

2.2.2. DETALLE DE EQUIPOS PRINCIPALES DE UNIDADES DE GENERACION 1 A 3

A. GRUPO 1:

EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
TURBINA	J.M. VOITH	PELTON	15410	Altura: 157m; Caudal: 540lt/s; Velocidad: 720 rpm.	
GENERADOR	AEG	DG 126/10	45071	Potencia: 750 KVA; Voltaje: 2300V; Velocidad: 720 rpm; Voltaje Excitación: 100V (CC); Corriente Excitación: 105 A(CC); 3 Fases; 60Hz; 0.8 FP.	
EXITATRIZ	AEG	EA85	629432	Potencia: 12KW; Voltaje: 110 (CC); Corriente: 105 A; Bobinado tipo Shunt; Velocidad: 720 rpm.	
REGULADOR DE VELOCIDAD	J.M.VOITH	FD 50	9421	Velocidad: 720 rpm; Potencia: 600Kw	

TRANSFORMADOR DE POTENCIA	AEG	JDU/630/20	81/18363	Potencia:750 KVA; Voltaje(primario):22 KV; Voltaje(secundario):2,3 KV;
DISYUNTOR DEL GENERADOR	AEG	MRO	11396	Capacidad: 120 MVA; Corriente Nominal: 400 A.
DISYUNTOR DEL TRANSFORMADOR	AEG	MRO	11397	Capacidad: 120 MVA; Corriente Nominal: 400 A.
REGULADOR DE VOLTAJE	AEG	STB213	211413	Voltaje: 2,3 KV; Corriente máxima: 12 A.
TABLERO DEL TRANSFORMADOR	AEG	N/D	N/D	Amperímetros: Clase 1,5
TABLERO DEL GENERADOR	AEG	N/D	N/D	Contiene: 4 amperímetros AEG, ESC: 0-200 A, clase 1,5; 2 voltímetros AEG, ESC: 0-3 KV, clase 0.5; 1 cosfmetro AEG; 1 relé de sobre voltaje Nro. 5031865; 1 relé de corriente MOD: RSZ3 Nro.18508044; 1 Kilo vatímetro AEG, ESC: 0-700 KW.

Tabla 5. Detalle equipos e instrumentación Grupo 1
Fuente: Manual operación y mantenimiento EERSSA

B. GRUPO 2:

EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
TURBINA	J.M. VOITH	PELTON	157	Altura: 157m; Caudal: 540lt/s; Velocidad: 720 rpm.	
GENERADOR	AEG	DG 126/10	456525	Potencia: 750 KVA; Voltaje: 2300V; Velocidad: 720 rpm; Voltaje Excitación: 100V (CC); Corriente Excitación: 105 A(CC); 3 Fases; 60Hz; 0.8 FP.	
EXITATRIZ	AEG	EA85	673272	Potencia: 12KW; Voltaje: 110 (CC); Corriente: 105 A; Bobinado tipo Shunt; Velocidad: 720 rpm.	
REGULADOR DE VELOCIDAD	J.M.VOITH	FD 50	10073	Velocidad: 720 rpm; Potencia: 600Kw	Falla válvulas, fuga aceite vástago. Operación manual.
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	AEG	JDU/631/20	FSt 81/2893	Potencia: 750 KVA; Voltaje(primario): 22 KV; Voltaje(secundario): 2,3 KV;	

DISYUNTOR DEL GENERADOR	AEG	MRO	14698	Capacidad: 120 MVA; Corriente Nominal: 400 A.	
DISYUNTOR DEL TRANSFORMADOR	AEG	MRO	14700	Capacidad: 120 MVA; Corriente Nominal: 400 A.	
REGULADOR DE VOLTAJE	AEG	STB213	211413	Voltaje: 2,3 KV; Corriente máxima: 12 A.	
TABLERO DEL TRANSFORMADOR	AEG	N/D	N/D	Amperímetros: Clase 1,5	
TABLERO DEL GENERADOR	AEG	N/D	N/D	Contiene: 4 amperímetros AEG, ESC: 0-200 A, clase 1,5; 2 voltímetros AEG, ESC: 0-3 KV, clase 0.5; 1 cosfímetro AEG; 1 relé de tensión MOD: CD5 Nro. 1875520A; 1 relé de corriente MOD: RSZ3 Nro. 5357098; 1 Kilo vatímetro AEG, ESC: 0-700 KW, 1 medidor de energía AEG MOD: D08, Nro. 30378855	

Tabla 6. Detalle equipos e instrumentación Grupo 2
Fuente: manual operación y mantenimiento EERSSA

C. GRUPO 3:

EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
TURBINA	J.M. VOITH	FRANCIS	16939	Altura: 157m; Caudal: 1080 lt/s; Velocidad: 1200 rpm.	
GENERADOR	AEG	DG 2134/6	67- 459260	Potencia: 1500 KVA; Voltaje: 2300V; Velocidad: 1200 rpm; Voltaje Excitación: 110V (CC); Corriente Excitación: 89,1 A (CC); 3 Fases; 60Hz; 0.8 FP.	
EXITATRIZ	AEG	EA277	67- 714338	Potencia: 10 KW; Voltaje: 110 (CC); Corriente: 89,1 A; Bobinado tipo Shunt; Velocidad: 1200 rpm.	
REGULADOR DE VELOCIDAD	J.M.VOITH		10511	Velocidad: 1200 rpm; Potencia: 1200Kw	Falla válvulas, fuga aceite vástago. Operación manual.
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	ABB	N/D	163219	Potencia: 1500 KVA; Voltaje(primario): 22 KV; Voltaje(secundario): 2,3 KV;	

DISYUNTOR DEL GENERADOR	AEG	G256	10N	Capacidad: 5,58 MVA; Corriente Nominal: 630 A.	
REGULADOR DE VOLTAJE	AEG	STB213	211413	Voltaje: 2,3 KV; Corriente máxima: 12 A.	
TABLERO DEL TRANSFORMADOR	AEG	N/D	N/D	Amperímetros: Clase 1,5	
TABLERO DEL GENERADOR	AEG	N/D	N/D	Contiene: 4 amperímetros AEG, ESC: 0-400 A, clase 1,5; 2 voltímetros AEG, ESC: 0-3 KV, clase 0.5; 1 cosfímetro AEG; 1 relé de tensión MOD: RUZD Nro. 5578624; 1 relé de corriente MOD: RSZ3-G Nro. 536324; 1 Kilo vatímetro AEG, ESC: 0-1400 KW, 1 medidor de energía AEG MOD: D11, Nro. 24925935	

Tabla 7. Detalle equipos e instrumentación Grupo 3
Fuente: manual operación y mantenimiento EERSSA

2.2.3. DESCRIPCION DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL

La central Carlos Mora Carrión, genera 2,4 MW, dividido en 3 unidades generadoras, dos unidades del tipo Pelton de 600Kw cada una, conectadas en paralelo y una unidad del tipo Francis de 1,2MW.

La toma de agua se hace a una altura de 157 metros, por medio de dos tubo de acero de diámetro 30 pulgadas, el cual luego de su llegada a la central toma una bifurcación en 2 segmentos, uno de los cuales, llega para las válvulas de las turbinas Pelton y la otra tubería, de manera directa, para la válvula de la turbina Francis.



Figura 26. Tubería bifurcada Para Válvulas Esféricas Grupo 1 y 2 y Mariposa Grupo 3 (fotos propias en sitio)

El proceso de apertura de válvulas, es netamente manual, para lo cual, la EERSSA ha programado la instalación de 3 motores con un eje sin fin para la apertura de las mismas, estando como un proyecto para realizarlo este año. Luego de la apertura de

las válvulas se turbinan el agua por medio de 2 inyectores para la turbina Pelton de 14 paletas, hasta alcanzar la velocidad nominal de 720rpm.

Para la turbina Francis, la apertura de la válvula mariposa es igual, de manera manual, luego, el agua llega a los 18 alabes, alcanzando la velocidad nominal de 1200rpm.



Figura 27. Acople turbina y Regulador de velocidad grupo 1 y 2 (fotos propias en sitio)



Figura 28. Inyector de la turbina Pelton (fotos propias en sitio).

Para alcanzar la velocidad apropiada de 720 rpm, la turbina está conectada mecánicamente hacia el regulador de velocidad. Para las turbinas tipo Pelton

tenemos 2 reguladores de 720 rpm y potencia 600 Kw, el funcionamiento de los mismo es de tipo automático, claro, que el control es de tipo manual, según las necesidades de generación y velocidad de la turbina, por medio del control del deflector y de la apertura de aguja y también por medio del volante regulador.



Figura 29. Regulador velocidad grupo 2 turbinas Pelton (fotos propias en sitio).

Con la velocidad optima de las turbinas, de los grupos generadores, se procede a por medio de un sin cronoscopio, a sincronizar sus valores de frecuencia para que estos grupos funcionen de manera óptima en cascada.



Figura 30. Tablero de control de grupo 1 y sin cronoscopio grupos 1 y 2 (fotos propias en sitio).

Cada unidad consta de un tablero de control donde se puede, manualmente operar cada grupo, además consta de un sistema de alarmas donde se indica las fallas y disparos de existir.



Figura 31. Paneles de medición y alarmas tableros de control (fotos propias en sitio)

La tensión de generación de cada grupo es de 2300 V, sin embargo para protección de cada grupo, cuenta con un interruptor de generador, además de un interruptor del transformador para la protección del mismo.



Figura 32. Interruptores del generador y transformador del grupo 2 (fotos propias en sitio)

Para elevar la transmisión del voltaje generado, cada grupo tiene un transformador de 2300 a 22KV, el cual como se mencionó anteriormente cuenta con un interruptor de protección y a su vez un relé de sobre corriente para su monitoreo y protección.



Figura 33. TPU 200R (relé de sobre corriente) Grupo 2 (fotos propias en sitio).



Figura 34. Transformador, barras de conexión y sistema enfriamiento grupo 2 (fotos propias en sitio)

2.2.4. ESTADO ACTUAL DEL REGULADOR DE VELOCIDAD DEL GRUPO 2

El sistema de regulación del grupo 2 de la Central Hidroeléctrica Carlos Mora ha recibido diferentes intervenciones, ya sean estas de mantenimiento preventivo o correctivo, luego de cada intervención se han desarrollado pruebas a fin de determinar su real estado.

La prueba hidráulica para constatar el funcionamiento de apertura y cierre de la aguja, además, el deflector la posición neutra de los vástagos. Se ha detectado que la turbina no mantiene la velocidad en rpm, lo que produce problemas de sincronización.

También se ha detectado una falla en los tornillos M12 del soporte de retroceso, estaban flojos y por ello, estaba con su pista colgado por abajo, el rulimán de carrera no descansó. Ajustando el sistema de soporte de retroceso, el sistema está funcionando bien.

Para la prueba con turbina en vacío y carga, la velocidad de 720 rpm mantiene el regulador sin pendulación. Con el mando eléctrico sobre el variador de velocidad puede sincronizar a plena carga de 600 KW.

A continuación se detalla un resumen de pruebas de rechazo de carga con 50 y 100% de la carga.

1. Prueba de rechazo de carga con 300 KW y 600 KW

P = KW	0	300	600
Ao (mm)	17	45	81
Nn (720 rpm)	720	720	720
Nmax (rpm)	0	800	843
Tc cierre aguja (s)	0	10	12
Ta apertura deflector (s)	Adentro	4	4
Ta apertura deflector (mm)	Adentro	70	90
Giro freno de aceite (rpm)	50	50	50
Agujero freno de aceite (mm)	0.7	0.7	0.7

Tabla 8. Pruebas de rechazo y carga en el regulador grupo 2

Fuente: Manual operación y mantenimiento EERSSA)

2. Generalidades y recomendaciones

- La operación del regulador del grupo 2 es manual y deficiente, debido a falla de válvulas de control de apertura y cierra de las agujas.

- Además existe una fuga de aceite en el vástago lo q limita su funcionamiento.
- Debido a la falta de repuestos por la antigüedad del regulador, y la simplificación del régimen de operación, se recomienda la sustitución de dicho regulador.

Recomendaciones

- Controles de resistencia de los tres generadores y excitatrices, limpieza minuciosa de las bobinas.
- El grupo 2 requiere un chequeo de las agujas.
- Fuga de aceite en el vástago, cambiar esta pieza mecánica.

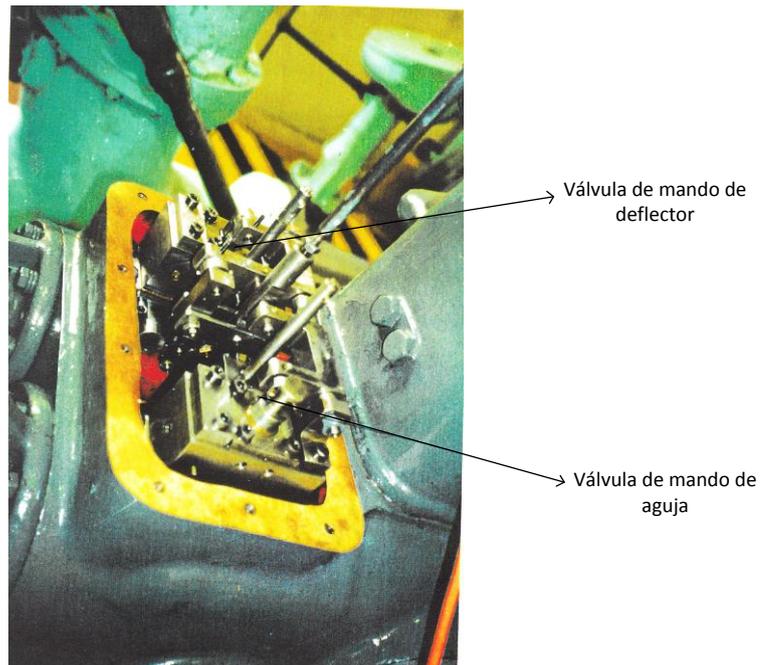


Figura 35. Botones de maniobra válvulas de aguja y deflector grupo 2 (manual FD 50 EERSSA)

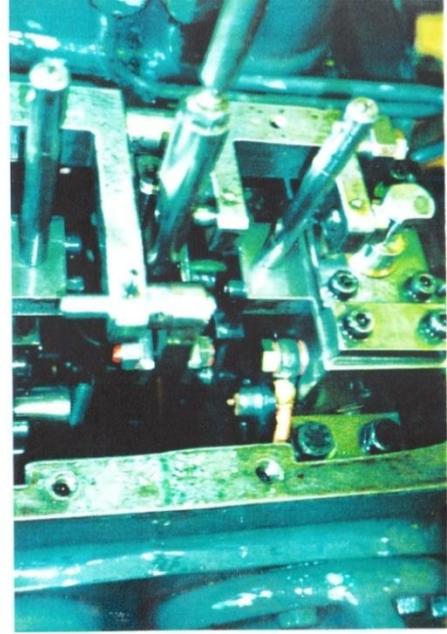
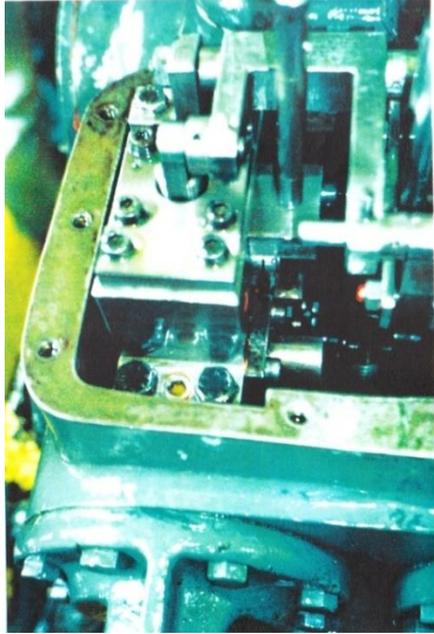


Figura 36. Válvula deflector nueva (izquierda); Válvula aguja nueva (derecha) (manual EERSSA)

CAPITULO 3

DISEÑO DE UN REGULADOR ELECTRONICO

3.1. CARACTERISTICAS DEL REGULADOR ELECTRONICO

3.1.1. GENERALIDADES

Para describir las características de los reguladores electrónicos o digitales, es necesario hacer un análisis por qué existe el cambio de un regulador mecánico.

Como característica principal del regulador del grupo 2 de la central Carlos Mora, los procesos de operación se realizan de forma manual. La operación actual del regulador de velocidad, es completamente mecánico, además, tiene restricciones para realizar ajustes de la regulación de la frecuencia por lo que se sincroniza en paralelo con el regulador del grupo 1. Debido a problemas con el daño de las válvulas y la fuga de aceite en el vástago, la operación del regulador se ve limitada para su óptima operación y mantenimiento¹⁰.

Por medio del regulador de velocidad electrónico, se estima una mejora en los siguientes parámetros:

- Incremento en la seguridad de la unidad y en los pasos de agua.
- Control mejorado en la precisión y estabilidad.
- Simplificación del régimen de operación.
- Disponibilidad de los componentes mejorados.
- Incremento en la Producción Anual de Energía.

Incremento en la seguridad de la unidad: La aplicación elemental para el incremento de seguridad consiste básicamente en el régimen de cierre del servomotor en dos pasos, para minimizar el golpe de ariete. Además de realizar pruebas periódicas de los componentes de protección de parada.

Control mejorado de precisión y estabilidad: Garantizar alta resolución aplicada a la medición de la velocidad (≤ 0.001 %), algoritmos de control sofisticado (controlador PID en comandos), todos estos requerimientos aplicados acorde con las

¹⁰ ANDRITZ, V. H. (2007). *Modernización de reguladores de velocidad*

normas DIN (Instituto Alemán de Normalización), IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), IEEE (instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos).

Simplificación del régimen de operación: El Régimen de operación puede ser simplificado por medio de la implementación de los siguientes sistemas:

- Controladores en Turbina para regular la velocidad, potencia, apertura y nivel
- Control conjunto para regular la potencia, nivel o caudal.
- Sistema de control superior para el control de la cascada

Disponibilidad de los componentes: todas las partes utilizadas son componentes estándares y probados, entre ellos son los siguientes:

- Controlador de turbina Digital
- Control conjunto
- Transmisor de retroceso
- Sensor de medición de velocidad
- Bombas, válvulas, etc.

Para darle nueva operatividad al regulador, se modernizará a través de sus componentes críticos:

- Actuador del regulador
- Válvulas de control
- Bombas
- Servomotores
- Sensores y componentes de supervisión.

El moderno regulador de velocidad actuará directamente sobre los servomotores de las agujas inyectoras a través de electro-válvulas, y este control es realizado mediante el software del equipo.

a. Propuesta diseño de regulador digital

El diseño propuesto en el Sistema de Regulación de Velocidad está constituido por el Regulador de velocidad electrónico y la Unidad Hidráulica de Potencia. El regulador presentara una operación estable, confiable y optimizada en todos los modos de funcionamiento vacío o carga.

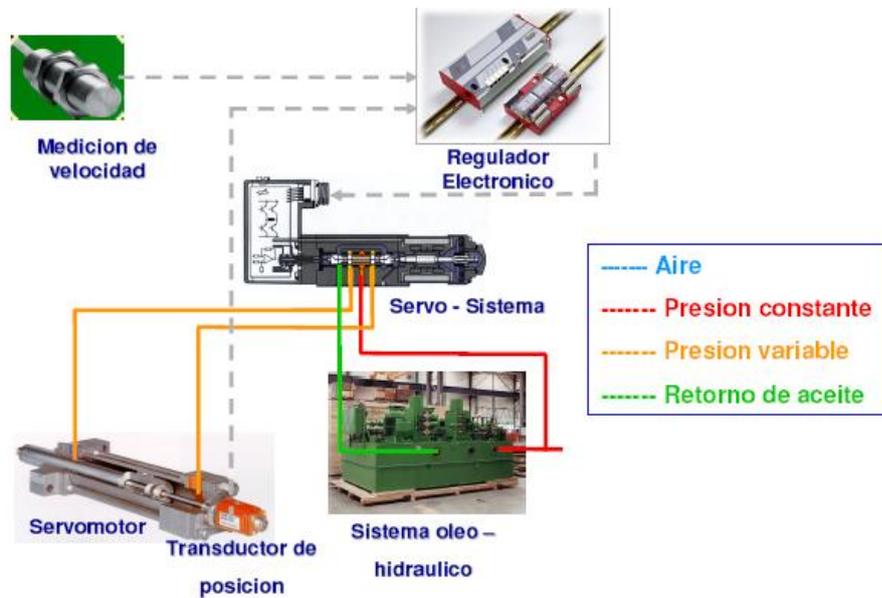


Figura 37. Modernización de Regulador de velocidad (ANDRITZ-VATEC)

El sistema de regulación de velocidad a ser suministrado, tiene como finalidad controlar la velocidad de la turbina, desde las mediciones de frecuencia, potencia activa, posición del inyector y estados lógicos recibidos de dispositivos externos (medición y comunicación SCADA, Alarmas y actuadores de control existentes).

b. Diseño de Controlador

El controlador del Regulador es tipo PID. El hardware del controlador dispone de una unidad para la captación de valores medidos, el desacoplamiento y la conversión de señales.

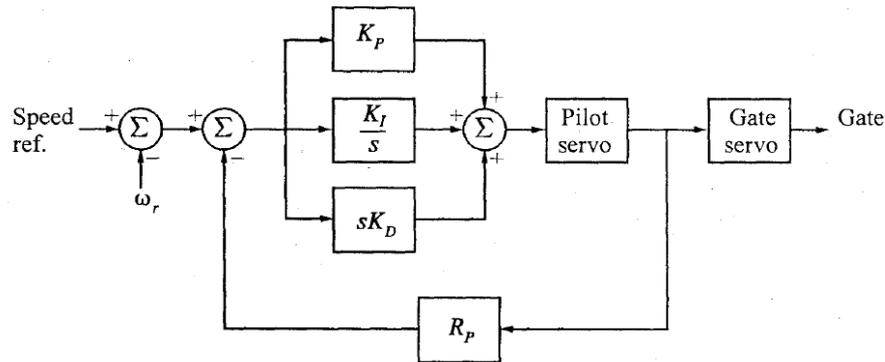


Figura 38. Controlador PID aplicado en modo general para reguladores electrónicos de velocidad (<http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/32/Regulaci%C3%B3nVelocidad%201.pdf>)

La limitación de apertura de los servomotores de las agujas, el deflector y la indicación de velocidad están disponibles en el controlador y desde allí a través del sistema de automatización se dirige al sistema SCADA para su monitoreo y al tablero de control para su operación.

El regulador de velocidad controla el arranque automático, sincronización, operación de la máquina y parada garantizando el control de la velocidad de la turbina establemente en el rango entre 90 y 110% de la velocidad nominal.

La fuente de alimentación de la parte de control, será de 110 voltios de corriente continua. Dentro del regulador, la alimentación de energía se efectuará mediante un convertidor corriente alterna-corriente continua (CA-CC).

El regulador limitará la sobre presión de agua al ingreso de la turbina al 15% de la altura neta, al producirse un rechazo de carga (desfogue de agua por medio del deflector de la turbina) con el 100% de la carga nominal de la turbina y la sobre velocidad al 20%. La banda muerta no será mayor a 0,02 Velocidad nominal, bajo las condiciones más críticas.

El software de control del regulador residirá en una memoria EPROM para garantizar que ante un fallo de tensión no se origine ninguna pérdida del programa.

Los módulos de memoria principal dispondrán de baterías a fin de continuar operando el regulador de forma segura, incluso en caso de presentarse este fallo. El Regulador dispondrá de un puerto de comunicación RS-485 y uno de Ethernet con protocolo MODBUS.

c. Modernización del sistema hidráulico

La propuesta para la modernización de regulador, se resume en sustituir el regulador de velocidad existente por un regulador electrónico, y suministrar una moderna Unidad Hidráulica de Potencia.

Dicha unidad es responsable por garantizar la filtración necesaria, suministrar presión suficiente de aceite, acumular aceite presurizado y limitar la presión del sistema, permitiendo el ajuste de la forma de operación de las bombas para el modo continuo o intermitente.

La solución planteada consiste en sustituir el cilindro hidráulico actual, por uno moderno y nuevo, capaz de responder de manera óptima ante el accionamiento de las agujas de la turbina (Actuador Servomotor), a su vez, sustituir el regulador mecánico, válvulas, y equipos de control asociados antiguos, por nuevos y modernos equipos electromecánicos.

El nuevo cilindro hidráulico comandara los servomotores de los inyectores, a través del sistema de acoplamiento mecánico disponible en el regulador mecánico actual. Este cilindro contará con un sensor de posición en su eje, para permitir el ingreso de su señal al controlador.

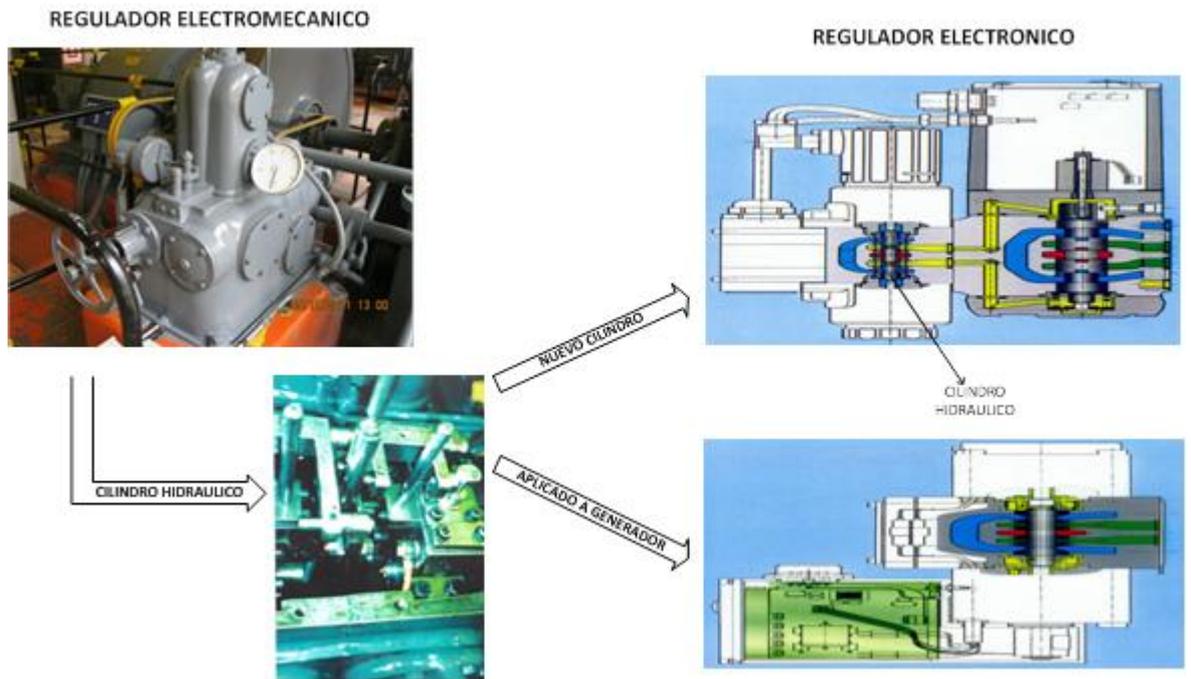


Figura39. Diagrama de cambio de actuador de servomotor (Cilindro hidráulico) (ANDRITZ, 2007)

d. Funciones principales del regulador de velocidad digital

- Regulación automática de velocidad con banda de regulación ajustable.
- Regulación PID, con ajustes independientes para operación en vacío o en carga
- Partida controlada para aceleración adecuada de la unidad.
- Regulación Manual por posición del distribuidor.
- Control PID para malla de control del servomotor del distribuidor.
- Ajustes y ensayos vía Interfaz hombre-Máquina(IHM)
- Limitador de apertura servomotor de aguja y deflector.
- Comunicación a través de interfaz serial y protocolo MODBUS RTU

3.1.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

El Regulador electrónico es una unidad de adquisición, registro y control desarrollado para ejecutar las funciones necesarias para un regulador de velocidad en

centrales de medio y pequeño porte. Las principales características para el regulador electrónico son las siguientes:

- Controlar una turbina hidráulica a través de referencias de posición, velocidad y potencia activa, manteniendo la operación de forma estable y segura.
- Ejecutar automáticamente los procesos de arranque y paro de la unidad de modo integral o paso-a-paso.
- Controlar la unidad hidráulica y todos sus componentes.
- Supervisar el proceso de regulación de velocidad, actuando en el caso de fallas y alarmas.
- Establecer comunicación con el SCADA de la central a través de protocolo industrial y de señales analógicas y digitales para indicar, respectivamente los estados de todos los componentes.

a. Aplicación

En la Figura 24 se muestra un diagrama genérico para aplicación del Regulador.

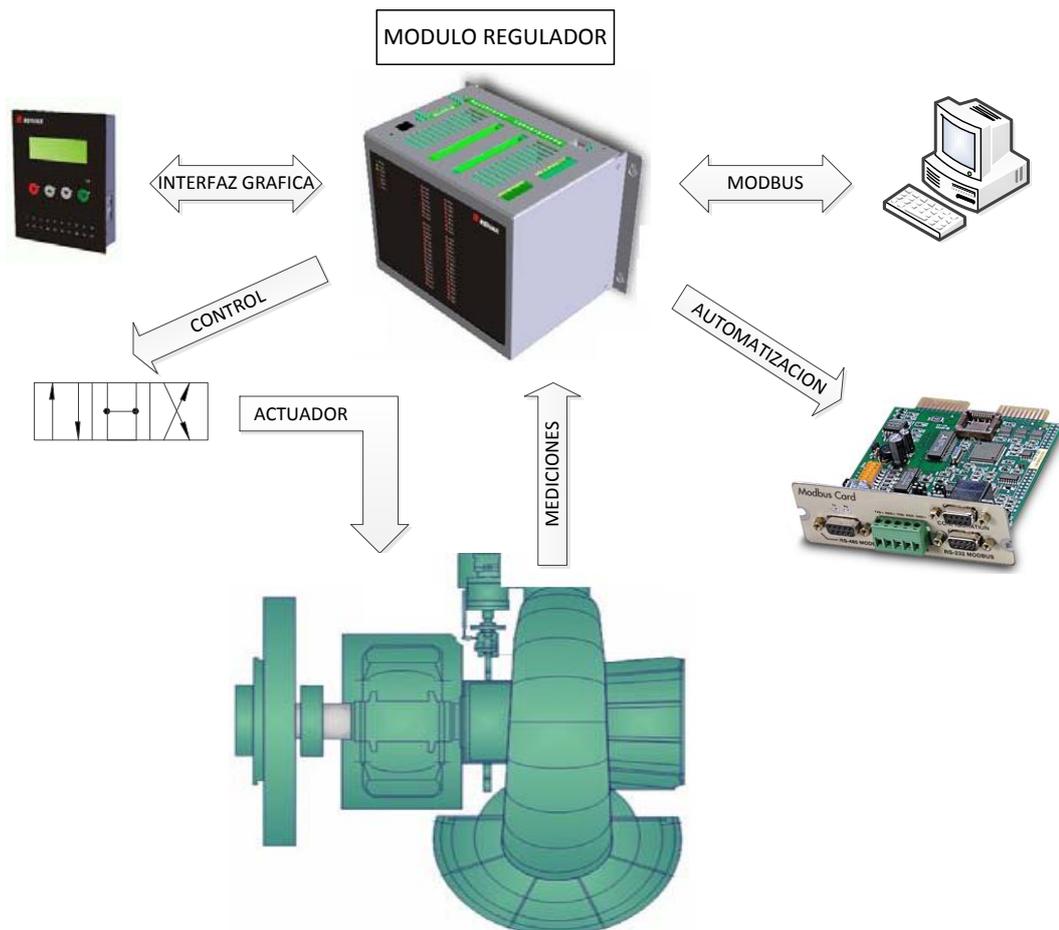


Figura 27. Aplicación del Regulador digital (DAUX, RVX energy manual regulador automático de velocidad, 2008)

b. Especificación electrónica

El regulador planteado para la central Carlos Mora Carrión es netamente electrónico, para turbina Pelton de eje horizontal, constituidos por un módulo digital, cuyo controlador es de tipo PID como mencionamos anteriormente. Como proyección debe contener una unidad programable, un panel de control local, amplificadores de salida, aparatos e instrumentación adicionales requeridos para la captación de valores medidos, el desacoplamiento y la conversión de señales.

Los paneles de operación serán constituidos por pantallas LCD, táctiles con capacidad de visualización las variables en tiempo real. Por medio de estas pantallas de operación, se podrán ingresar los distintos parámetros de control de la máquina,

las consignas de velocidad, de apertura y cierre de las agujas de la turbina. A su vez se podrá disponer de una entrada de comunicaciones MODBUS o ETHERNET para ingresar datos y ser compatibles con el sistema SCADA existente, para ingresar estos mismos parámetros remotamente, a través de oficina de operación u oficina de comunicaciones remota.

El módulo electrónico digital deberá almacenar internamente, los avisos de las alarmas producidas. Mientras persistan las señalizaciones de falla, una señal luminosa deberá ser visualizada en el panel de control, en las pantallas se deberá tener opción de pronóstico de todo el regulador electrónico.

El regulador de velocidad electrónico constará de un número amplio de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, que garantizará la conexión de todas las señales de comandos, medición y señales de los equipos existentes y la integración a un sistema de control distribuido de la central (sincronización, medición y puesta en paralelo con los dos grupos y el sistema SCADA). Para el intercambio de señales con el sistema de control, se dispondrá de contactos aislados.

Las limitaciones en los servomotores de apertura y cierre de aguja, deflectores y las indicaciones de velocidad deberán estar disponibles en el módulo electrónico digital y desde ahí por medio de un PLC (sistema de automatización) controlara las mismas. Los reguladores controlarán el arranque automático, sincronización, operación de las máquinas con carga y proceso de parada (condiciones normales y emergentes). Garantizará el control de velocidad en un rango de 90 y 110% de las velocidades nominales (720 rpm a plena carga).

Los Reguladores de Velocidad podrán funcionar en los siguientes modos de operación:

- Limitador de Apertura.
- Control de velocidad
- Control de potencia.
- Control con nivel de agua

La fuente de alimentación del módulo electrónico digital, será de 125 voltios o 24 voltios de corriente continua. Los reguladores en su parte de control y automatización, deberán limitar la sobrepresión al ingreso de las turbinas al 15% de su altura neta (157 m), al producirse un rechazo de carga con el 100% de la carga normal en las turbinas (600 KW) y la sobre-velocidad al 20% (900 rpm).

Cada software de control del módulo electrónico digital, debe residir en una memoria EPROM o Flash para que en un fallo de tensión no ocasione la pérdida del programa. Los módulos de memoria principal deberán disponer de baterías para seguir operando, incluso en fallo de suministro de energía eléctrica.

c. Especificación unidad hidráulica

La proyección de la unidad hidráulica para el grupo 2 de la central Carlos Mora estará asociada a cada regulador electrónico de velocidad y PLC de las máquinas; la que a su vez, permitirá interactuar todas las partes del sistema de control de velocidad para las condiciones de operación normal y emergente.

Se propone, debido a fallas mecánicas y discontinuidad del lote de repuestos, el reemplazo de: bombas, válvula distribuidora de aceite, implementación de una cámara de aire- aceite que no dispone actualmente la central Carlos Mora Carrión, accesorios y componentes para una correcta operación del anillo distribuidor en las diferentes posiciones de apertura y cierre de servomotores de las agujas y el deflector.

La unidad hidráulica, deberá disponer de electroválvulas con indicadores de actuación (leds), para el accionamiento de los servomotores en la operación de apertura y cierre de las agujas y deflectores de las turbinas.

La unidad hidráulica, deberá incluir también:

- Filtros de aceite.
- Manómetros.

- Válvula reguladora del caudal de aceite.
- Válvula de seguridad para sobrepresión del sistema oleo hidráulico.
- Instrumentación digital hacia el módulo electrónico digital.
- Todas las conexiones desde el unidad hidráulica hacia los dispositivos que comandarán, se realizarán a través de tubería de acero inoxidable, al igual que sus acoples.

Las bombas de engranaje dispondrán de un sistema de control para la regulación de presión.

Debe tomarse en cuenta y registrar los detalles técnicos relacionados con espacios libres para montaje, dimensionamiento, niveles de montaje, distancias y holguras en general.

Los sensores de velocidad para cada turbina, serán de tipo inductivo o pick up. Deberá ser capaz de registrar velocidades desde 0 (cero) r.p.m. (unidad parada) hasta 1000 r.p.m. El equipo deberá garantizar una alta resistencia a los golpes y a la vibración.

d. Automatización

Este sistema de control será compatible para operar con el sistema SCADA implementado en la central.

La automatización consistirá, en instalar nueva instrumentación de campo, adaptable o acoplable a los distintos sistemas de medición o de control existentes en la central. El sistema de control y supervisión contará con varias pantallas para visualizar los sistemas de control, medición y secuencias de arranque, parada y sincronización. Al interior de casa de máquinas existirán actuadores para las válvulas que estarán conectadas con el protocolo MODBUS RS485 a un respectivo PLC.

El PLC realizará las funciones de control requeridas para las operaciones normales de la central, detectar condiciones anormales; proteger al personal y equipos de posibles eventualidades. Las rutinas de seguridad realizan funciones de paradas de emergencia tanto eléctrica como mecánica en la unidad, para la comunicación el PLC envía y recibe datos del sistema supervisora a través de la red Ethernet TCP/IP. El PLC deberá tener módulos de entradas/salidas analógicas del tipo HART.

El CENACE requiere que se envíen, utilizando el protocolo DNP3.0 (protocolo industrial MODBUS-PLC) datos de la unidad y de protecciones de la central, para lo cual el PLC de la unidad dispondrá de un módulo con este protocolo y se deberá tener una red DNP3.0 y los equipos de protecciones. De toda la central deberá salir un sola comunicación en DNP3.0 hacia el CENACE y deberá ser utilizando fibra óptica.

3.1.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS A USARSE.

a. Electrónica

- Regulador electrónico digital con controles en velocidad, apertura, Nivel de agua y Potencia.
- Módulo electrónico digital con control Tipo PID, con hardware programable y compatible con el sistema de control y medición de la central.
- Panel de visualización y control LCD, de manera remota o local con protocolo de comunicación MODBUS o Ethernet.
- Módulos de entradas y salidas analógicas y digitales que garanticen la integración al sistema de control distribuido de la central.
- Una unidad lógica Programable (PLC) conectada a los servomotores de apertura y cierre de agujas y deflectores adaptables al módulo electrónico digital.

- Tarjeta de memoria Flash o EPROM para garantizar óptimo funcionamiento del Software frente a fallas eléctricas.

b. Unidad Hidráulica

- Válvula distribuidora responsable de distribuir el aceite a los puertos de apertura y cierre de los servomotores.
- Tuberías y acoples y demás accesorios para la instalación de la válvula distribuidora.
- Bomba de aceite operaria o general, está en todos los sistemas del regulador digital con interfaz al módulo electrónico digital y PLC.
- Electroválvulas con indicación de actuación, de preferencia LEDS para el accionamiento de los servomotores.
- Manómetros, con interfaz al módulo electrónico digital.
- Tanque de presión o acumulador aire-aceite.
- Comando para servos del anillo distribuidor de la turbina.
- Sensores de velocidad tipo inductivo o pick up, resistente a la vibración y un rango de 0 a 1000 rpm.

c. Comunicaciones.

- Tarjeta con puerto de comunicación serial RS 232.
- Tarjeta electrónica con puerto de comunicación RS485 con protocolo MODBUS para interconexión de los sistemas de mediciones y control de la central.
- Tarjetas con interfaz ETHERNET con un puerto USB para interconexión con una PC del operador.

3.2. DISEÑO DEL DIAGRAMA ELECTRONICO

3.2.1. Generalidades.

Tomando en cuenta las consideraciones del punto anterior, se pudo recopilar información para el planteamiento del modelo electrónico y la descripción de la Unidad hidráulica, además el modelamiento plantea una sustitución de las partes críticas del Regulador Mecánico, simplificando el régimen de operación por medio del modelamiento del sistema de control de este tipo de reguladores, con un control específico en los servomotores de los actuadores de la turbina para regular la abertura y cierre de los mismos, como el control para regular la potencia, y la velocidad.

Como el proyecto planteado es nuevo, también debido a la vital importancia de este regulador para el grupo 2 y debido a la falta y discontinuidad de repuestos, se ha realizado y planteado un modelo de estudio en la parte electrónica, de comunicaciones y un detalle técnico de la Unidad hidráulica.

Se tomó el modelo matemático de un controlador PID para una turbina Pelton con 2 actuadores, para lo cual en el capítulo 4 se detallará un modelo mediante SIMULINK para el cual se diseñara un controlador y las características respectivas del modelamiento planteado en este capítulo y de las comparaciones respecto a reguladores y catálogos de este tipo. Además por medio del protocolo MODBUS y software asociado al regulador podremos comandar e intercambiar información con varios dispositivos por medio de los protocolos estándar IEC 60870-5-101; IEC 60870-5-103 (protocolos MODBUS).

3.2.2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El alcance del nuevo regulador de velocidad con todos los sistemas de mando, control y protección comprende:

- Sustitución del mecanismo de gobierno y de los componentes del sistema oleo-hidráulico existente.

- Instalación del tablero de control del regulador electrónico de velocidad, incorporando el sistema electrónico de regulación y protección de la turbina.
- El regulador electrónico incluirá para la turbina, la instalación de un dispositivo de protección mecánica para los eventos emergentes causados por sobre velocidad de la unidad, con todos los accesorios y materiales electromecánicos necesarios para su montaje y funcionamiento.
- La instrumentación y equipos necesarios para proporcionar al regulador la medida de velocidad así como la señalización respectiva.
- Descripción técnica de la Unidad Hidráulica de potencia,
- Pruebas de funcionamiento y puesta en servicio del nuevo sistema.
- Hardware necesario para transmitir las variables del sistema de regulación al PLC de control del grupo turbina-generator por medio de un protocolo industrial MODBUS.

3.2.3. CRITERIOS DE DISEÑO

a. Habilitación y Señalización de Fallas

Poseer una completa interfaz de habilitación y señalización de falla, posibilita una operación plenamente supervisada.

Entradas

Función	Descripción
Niveles	Alto: 18~30VCC Bajo: 0~5VCC
Corriente	<10Ma
Impedancia de entrada	Igual a o mayor que 10kΩ
Protección contra sobre tensión	Varistor 30V
Tensión de Aislamiento	2500V RMS, 1 min, norma IEC Conectores con relación a puesta a tierra del panel

Tabla 9. Entradas habilitación Regulador electrónico

Fuente: (DAUX, RVX energy manual regulador automático de velocidad, 2008)

Salidas

Función	Descripción
Tipo de contacto	Estado sólido polarizado
Resistencia	Contacto Cerrado: Menor que 5Ω Contacto Abierto: Mayor que $250M\Omega$
Tensión Máxima	250VCC
Corriente Máxima	200mA
Frecuencia Máxima	500 Hz
Vida Útil de los Contactos	Virtualmente infinita, sin degradación Mecánica
Protección	Tensión Excesiva: Varistor 250V
Tensión de Aislamiento	Conectores con relación a puesta a tierra del Panel

Tabla 10. Entradas habilitación Regulador electrónico

Fuente: (DAUX, RVX energy manual regulador automático de velocidad, 2008)

c. Señales digitales

El sistema contará con señales digitales, tanto, entradas como salidas, cada una de ellas con una alimentación a 24 y 125 voltios respectivamente dependiendo de la aplicabilidad del sistema. En el anexo 3 hojas 1, 2, 3 podemos ver las conexiones unifilares de las entradas digitales para los distintos sistemas a controlar. Las siguientes se clasifican como entradas digitales:

1	LR: Selección modo remoto
2	52: Estado del disyuntor de grupo
3	86E: Relé de emergencia por defecto eléctrico
4	586M: Relé de emergencia por defecto mecánico
5	PER: Permisible de la central para el regulador de velocidad
6	START: Comando de arranque de la máquina
7	STOP: Comando de paro de la máquina
8	UP: Comando de aumento de referencia para el regulador
9	DW: Comando de disminución de referencia para el regulador
10	ULOAD: Reducción de la potencia activa
11	INTER: Modo de operación inter ligado (con el grupo 1)

12	ISOL: Modo de operación aislado
13	PER: Permisible de la central para el regulador de velocidad
14	START: Comando de arranque de la máquina
15	BPA: Indicación de válvula <i>by-pass</i> abierta 1
16	BPF: Indicación de válvula <i>by-pass</i> cerrada 1
17	VBA: Indicación de válvula tipo mariposa abierta 1
18	VBF: Indicación de válvula tipo mariposa cerrada 1
19	PEQ: Presión ecualizada en el conducto
20	BPA: Indicación de válvula <i>by-pass</i> abierta 1
21	BPF: Indicación de válvula <i>by-pass</i> cerrada 1
22	FS: Indicación de filtro sucio en la unidad hidráulica 1
23	RNB: Nivel bajo de aceite en la unidad hidráulica 1
24	RMB: Nivel muy bajo de aceite en la unidad hidráulica 1
25	RPB: Nivel bajo de presión en la unidad hidráulica

Tabla 11. Entradas Digitales del regulador electrónico a proyectarse

Fuente: (DAUX, RVX energy manual regulador automático de velocidad, 2008)

Las salidas digitales, son capaces de comandar entradas digitales de otros dispositivos, o accionar pequeñas cargas inductivas. En el anexo 3 hojas 5,6 observamos hacia que señales es aplicada la medición o activación desde el módulo electrónico digital. Las señales de salida son las siguientes:

1	65F: Encerramiento de la válvula de arranque
2	65A: Apertura de la válvula de arranque
3	BP: Apertura de la válvula <i>by-pass</i>
4	VB: Apertura de la válvula tipo mariposa
5	B1: Accionamiento de la bomba principal
6	B2: Accionamiento de la bomba de retaguardia (seguridad)
7	VD1: Apertura de la válvula direccional
8	VD2: Apertura de la válvula direccional

Tabla 12. Salidas digitales del regulador electrónico a proyectarse

Fuente: (DAUX, RVX energy manual regulador automático de velocidad, 2008)

d. Señales analógicas

Estas señales son utilizadas para adquirir valores de transductores de posición, temperatura, corriente, tensión entre otros. En el anexo 3 hojas 6 y 7 se observa el unifilar de entradas analógicas, entre ellas:

1	YD: Posición del Distribuidor
2	YVD: Posición de la Válvula Distribuidora
3	YR: Posición del Distribuidor de la Rueda
4	YVR: Posición de la Válvula Distribuidora de la Rueda
5	Nivel del agua a Montante
6	Nivel del agua a Yusante
7	Presión de la Unidad Hidráulica
8	Temperatura de la Unidad Hidráulica

Tabla 13. Entradas analógicas del regulador electrónico a proyectarse
 Fuente: (DAUX, RVX energy manual regulador automático de velocidad, 2008)

Además el regulador está capacitado para adquirir un conjunto completo de mediciones trifásicas, y procesarlas internamente. El acondicionamiento de las entradas permite que señales provenientes de TP y TC puedan ser conectadas directamente al módulo. Los bloques de medición de corriente y tensión son aislados entre sí. La forma más completa de conexión es indicada en la figura 28.

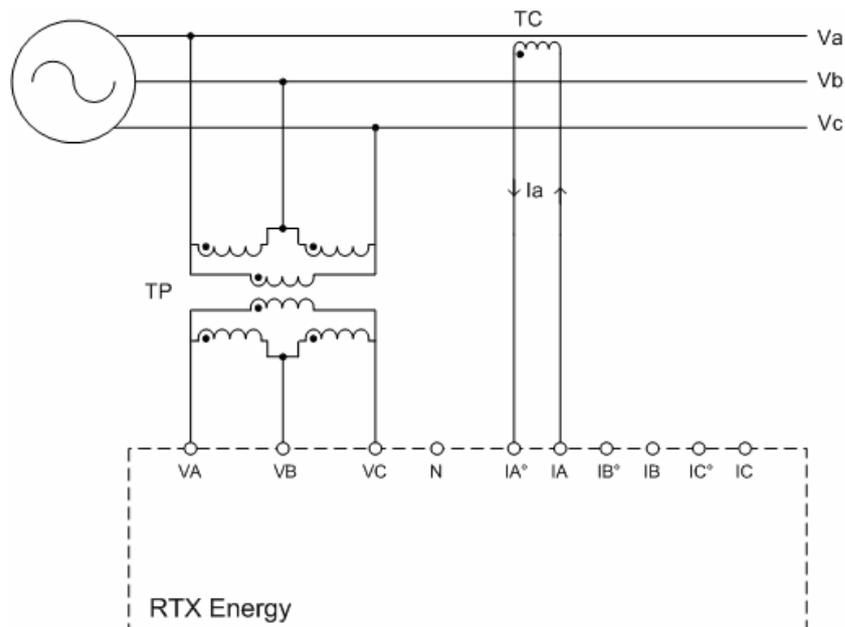


Figura 28. Conexión TP delta-delta y un TC (I_a o I_b o I_c) (Manual Usuario REIVAX)

e. Interfaz de comunicaciones

El Regulador posee algunas formas de interacción con el usuario y con los otros sistemas de la central donde está instalado. Estas interfaces son descritas a continuación:

1. IHM01:

La IHM01 es un terminal de configuración y visualización de los parámetros en el proceso de control de la turbina, cuya tasa de transmisión de datos varía desde los 500 Kbps (mínima) y de 1 Mbps (máxima)

2. Interfaz Serial:

Para una interfaz serial, estamos usando dos tipos de conexiones: EIA-232, usada para configuración y conexión de la interfaz LCD Gráfica, y la segunda interfaz EIA-485 se aplica en la comunicación con el nivel de supervisión externo.

f. Interfaz de comunicaciones MODBUS

El protocolo MODBUS es un protocolo de tipo cliente/esclavo o cliente/servidor, de tipo público, usado en sistemas electrónicos industriales, en especial para comunicación remota SCADA. Cada dispositivo MODBUS posee dirección única, es decir, puede envía órdenes, cada comando contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden, todos los dispositivos reciben la trama pero el destinatario únicamente la ejecuta. Los comandos básicos permiten controlar un dispositivo de unidad remota (RTU) para modificar o solicitar el valor de alguno de sus registros.

El Regulador digital permite el intercambio de señales con otros módulos que utilicen el protocolo MODBUS por una interfaz física RS232/485. El dispositivo trabaja como un “esclavo” (servidor) MODBUS y el formato del protocolo soportado es el MODBUS RTU. Este formato soporta una configuración multipuerta,

permitiendo la comunicación con diversos maestros (clientes) diferentes a través de la utilización de links seriales individuales (punto-a-punto).

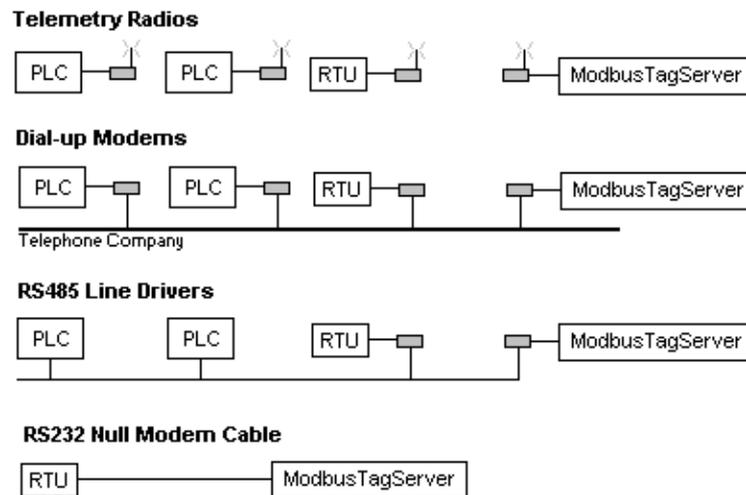


Figura 29. Modelo comunicaciones MODBUS (http://www.scadatec.com/overview_ts.php)

Configuración Padrón

El principio de funcionamiento del dispositivo consiste en contestar a los requisitos que llegan a través de sus puertas de comunicación disponibles, permitiendo a los dispositivos maestros la lectura / escritura en línea o tiempo real de señales en el esclavo.

Interfaz	RS485 – HALF DUPLEX (2 HILOS)
Protocolo	MODBUS RTU MASTER
Baud Rate	115200
Data Bits	8
Stop Bits	Preferencial: 1 Opción: 2
Paridad	Preferencial: 0 Opciones: 1 o 2
Slave Address	Preferencial: 1 Banda: 1 a 255
Timeout	Preferencial: 1000 Banda: 1 a 10000
Function Code	3 (READ HOLDING REGISTERS) 16 (PRESET MULTIPLE REGISTERS)

Tabla 14. Configuración Padrón en Comunicaciones

Fuente: (ANDRITZ, 2007)

g. Interfaz Gráfica de control y operación

La interfaz gráfica presentará una estructura con 6 pantallas básicas: Principal, Operación, Ensayos, Alarmas, Gráficos y Setup. Éstas pueden subdividirse en otras pantallas, sin embargo están estructuradas de forma estándar. El control de acceso esta dado o comandado en la Pantalla Inicial.

- **Principal:** Presenta un diagrama simplificado del grupo generador, con las mediciones provenientes del sistema de regulación, Fallas Leves y Fallas Graves. No es posible efectuar comandos o control hacia el regulador.
- **Operación:** En esta opción se realizara el control de la unidad generadora. Están disponibles los comandos de aumentar/disminuir las referencias de la frecuencia, potencia, apertura y limitador; arranque/paro del regulador y control de la unidad hidráulica. Presenta las indicaciones de fallas, modo de pruebas y escalón aplicado en referencia, automatismos de la unidad hidráulica, válvula *by-pass* y tipo mariposa así como supervisión de velocidad y potencia activa.
- **Ensayos:** En esta opción, se encuentran los links para las mallas de control: Malla de Posicionamiento del Servomotor, Giro Mecánico/Arranque Controlado, Ajuste de la Malla de Control de Velocidad, Malla de Potencia y Aislamiento.
- **Alarmas:** Tiene por función visualizar todas las fallas ocurridas durante la operación del regulador. Ellas pueden ser listadas por orden alfabético, tiempo o prioridad.
- **Gráficos:** Tiene por función mostrar la tendencia en tiempo real de los valores medidos.
- **Setup:** A través de esta opción el usuario tiene acceso a las pantallas de ajuste de los parámetros del regulador entre ellas: ajuste de las referencias,

parámetros, lógica, transducción, relé o actuadores auxiliares, fallas, indicadores externos y automatismos; informaciones y Opciones Gráficas entre ellas: ajuste de displays, calibrador de la pantalla, informaciones.

3.2.3.1. INSTRUMENTACION Y DESCRIPCION OPERATIVA

A breves rasgos se describen las características técnicas del regulador, como interfaces, comunicaciones, señales tanto analógicas como digitales y aplicabilidad, pero ahora realizamos un análisis minucioso de sus partes, interfaz gráfica y operativa, que a continuación enumeramos y describimos detalladamente.

PAN 15

La interfaz Gráfica PAN15 es una microcomputadora de panel con pantalla de cristal líquido sensible al toque. La sensibilidad al toque dispensa el uso de teclados o mouse, otorgando mayor comodidad en la utilización del Regulador.

A través de la comunicación con el regulador, se podrá monitorear y controlar con precisión todos los procesos relacionados al control de la unidad generadora. Datos en tiempo real se presentarán en formato gráfico permitiendo el tratamiento de las informaciones con mayor rapidez.

Información técnica:

COMPOSICIÓN BÁSICA	
Monitor	Cristal líquido TEW15TO 15" con sensibilidad al toque
CPU	GEODE LX800 – 500 MHz – Memoria 256M SODIMM
Memoria	Compact Flash IDE 512MB
Comunicación	Ethernet de la propia CPU
Driver de Comunicación	MODBUS Master TCP
Sistema Operacional	Windows XP Embedded
Sistema de Supervisión	Elipsis SCADA OEM Runtime Full v2.29 build 030

Tabla 15. Información técnica PAN 15

Fuente: (ANDRITZ, 2007)

a. Instrumentación

En ella será posible efectuar comandos y visualizar los valores medidos así como las indicaciones de algunas variables. Los comandos solamente serán aceptados después de su confirmación. Como consecuencia, una ventana de diálogo será abierta solicitando su confirmación como se indica en la figura 30.

La indicación del modo de control (potencia, frecuencia, o apertura), se mostrara por colores detallados más adelante. La selección de control del regulador es hecha por el usuario a través de un comando llamado “Modo de Control.”

Con relación a las indicaciones, notase que son mostrados textos donde se puede asumir 4 colores:

- **Blanco:** Indica que determinada condición es verdadera.
- **Verde:** Condiciones normales o que no afectan la operación del regulador.
- **Amarillo:** Condiciones que, si persistieren, pueden ocasionar alarmas en el regulador.
- **Rojo:** Ocurrencia de alarma en el regulador.



Figura 30. Ejemplo de Pantalla de Operación e instrumentación (Central Los Chillos REIVAX)

En la siguiente pantalla (figura 31) se describe el control de la unidad generadora. Están disponibles los comandos de aumentar/disminuir las referencias de frecuencia, potencia, apertura y limitador; selección entre bombas 1 y 2; arranque/paro de la unidad. Presenta las indicaciones de fin de curso, fallas, sobre velocidad, relés de bloqueo, potencia nula, modo de prueba, escalón aplicado en referencia, entre otros. Además, contiene las mediciones de Frecuencia, Potencia Activa, Limitador de Apertura, Presión y Temperatura en la unidad hidráulica.

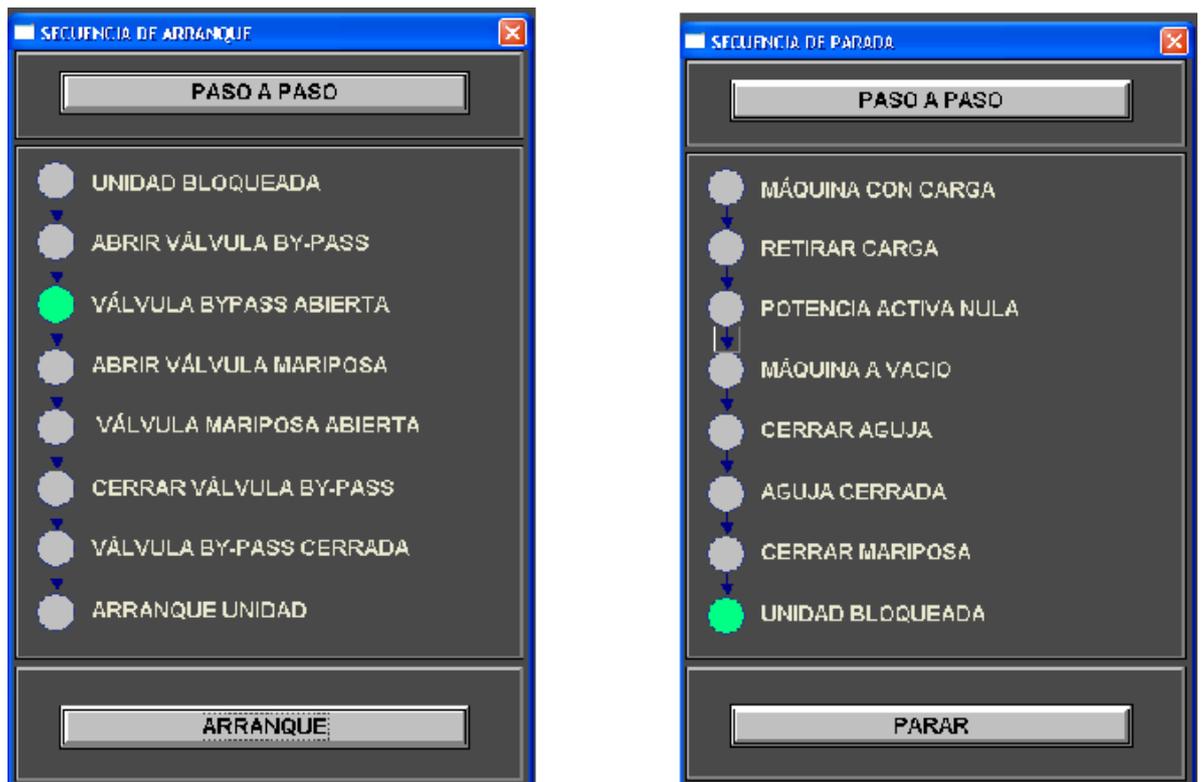


Figura 31. Secuencia de arranque y paro (Central los Chillos REIVAX)

b. Ajuste del Controlador de Posicionamiento del Servomotor:

Cabe recalcar que el Ajuste de posicionamiento del servomotor es de hecho el ajuste de posicionamiento del distribuidor, el de la válvula distribuidora, así como el ajuste de la salida de control de la malla.

La efectividad del control de velocidad y potencia dependerá directamente de la precisión del ajuste de los diagramas de control del distribuidor y de la válvula distribuidora. Para obtenerse el mejor desempeño, el ajuste de los diagramas de control es realizado por medio de la respuesta al escalón aplicado en sus referencias, a través del comando directo del controlador verificando su posicionamiento rápido y el mínimo error en régimen, ajustándose los respectivos integrales PI (proporcional integrativo) de control. El análisis de estos comportamientos puede ser hecho a través del gráfico de tendencia.

La salida de control es la conversión de la señal del diagrama de control en la CPU en señales de tensión. Los parámetros que ajustan esta salida son ganancia y offset (Figura 32).

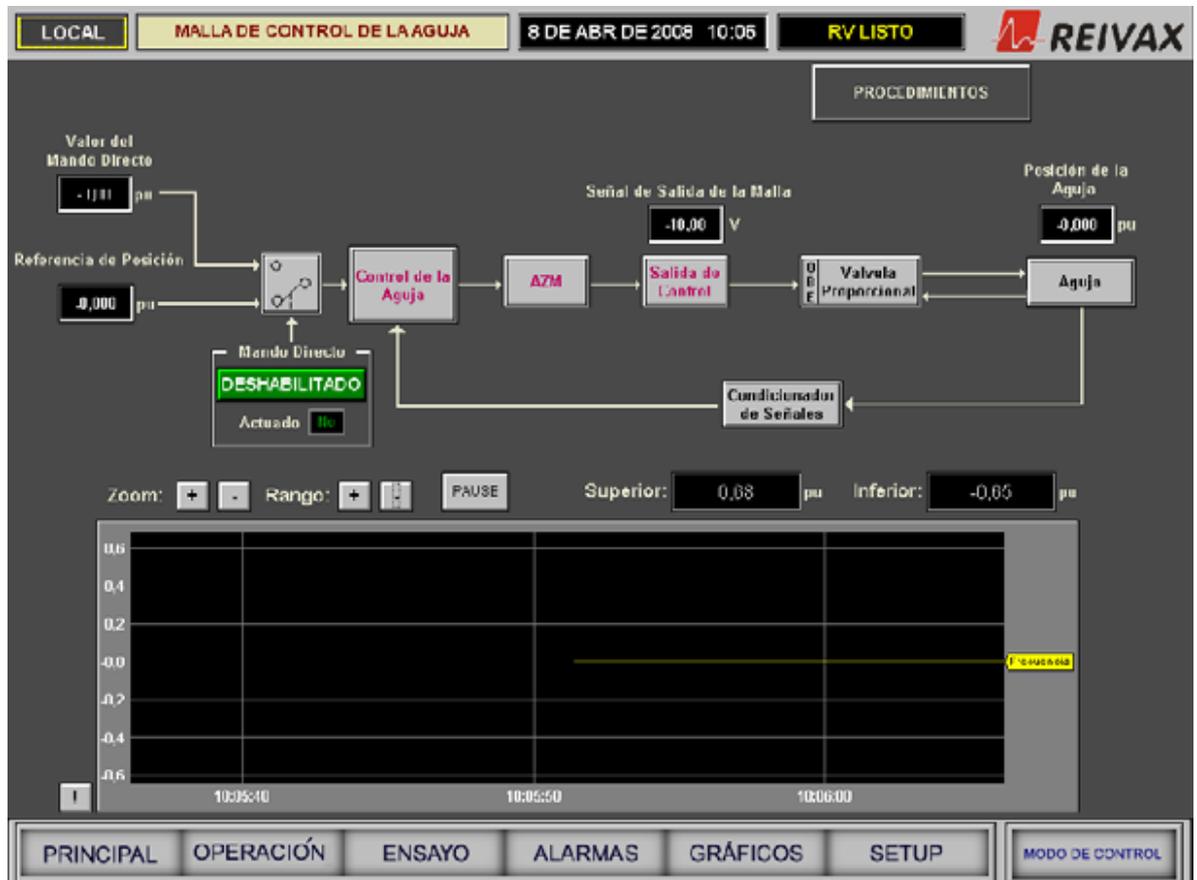


Figura 32. Ajuste de la Malla de Posicionamiento del Servomotor (Central los Chillos REIVAX)

c. Giro Mecánico / Arranque Controlado

El Giro Mecánico consiste en abrir levemente el distribuidor durante un pequeño intervalo de tiempo de manera a girar la turbina en baja velocidad. Este procedimiento sirve para verificar si hay obstrucciones al movimiento de giro de la turbina. En el Arranque Controlado, se realiza la elevación por grados de la velocidad de giro de la turbina a través del comando directo.

d. Ajuste del diagrama de Control de Velocidad

Para obtener un buen control de velocidad, es necesario ajustar la malla del distribuidor de modo que se pueda lograr una buena característica estática (estable), con una buena respuesta dinámica en toda la banda operativa. Esto se obtendrá ajustando adecuadamente los controladores de la válvula distribuidora y a su vez del distribuidor.

La figura 33 muestra de forma simplificada el diagrama de control de velocidad. En ella, es posible alterar los parámetros de ganancia del emulador del servomotor (K_w), el estatismo transitorio a vacío (b_t y t_d) y el acelerómetro a vacío (T_n). Es posible efectuar, la aplicación de escalón en el control de frecuencia.

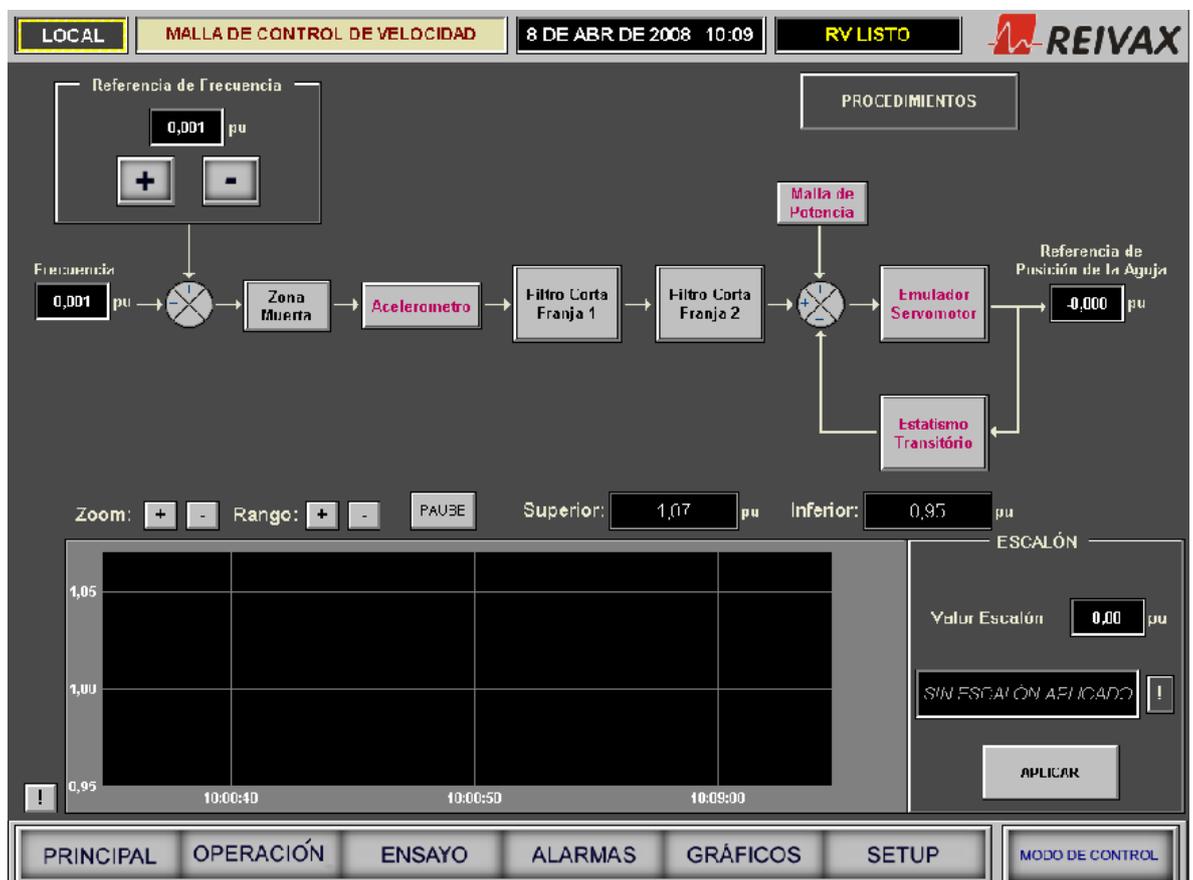


Figura 33. Ajuste de la Malla de Control de Velocidad (Central Los Chillos REIVAX)

e. Diagrama de Control de Potencia

En esta etapa se ajusta el diagrama de control de potencia activa y rampa de carga. De manera similar, la diagrama de control de velocidad y los parámetros del mismo

se refieren al estatismo transitorio. La diferencia es que en condición de carga, los parámetros del estatismo transitorio actúan en el sentido de disminuir el efecto del estatismo permanente durante las perturbaciones.

La Figura 34 indica de forma simplificada el controlador de potencia. En ella es posible alterar los parámetros de ganancia emulador del servomotor (K_w), estatismo transitorio en carga (b_t y t_d), constante de tiempo en la medición de potencia (T_F) y referencia de potencia (T_g), Acelerómetro en carga (T_n) y ajuste de la curva de apertura x potencia. Es posible efectuar, cuando necesario, la aplicación de escalón en el control de tensión, corriente o reactivo.

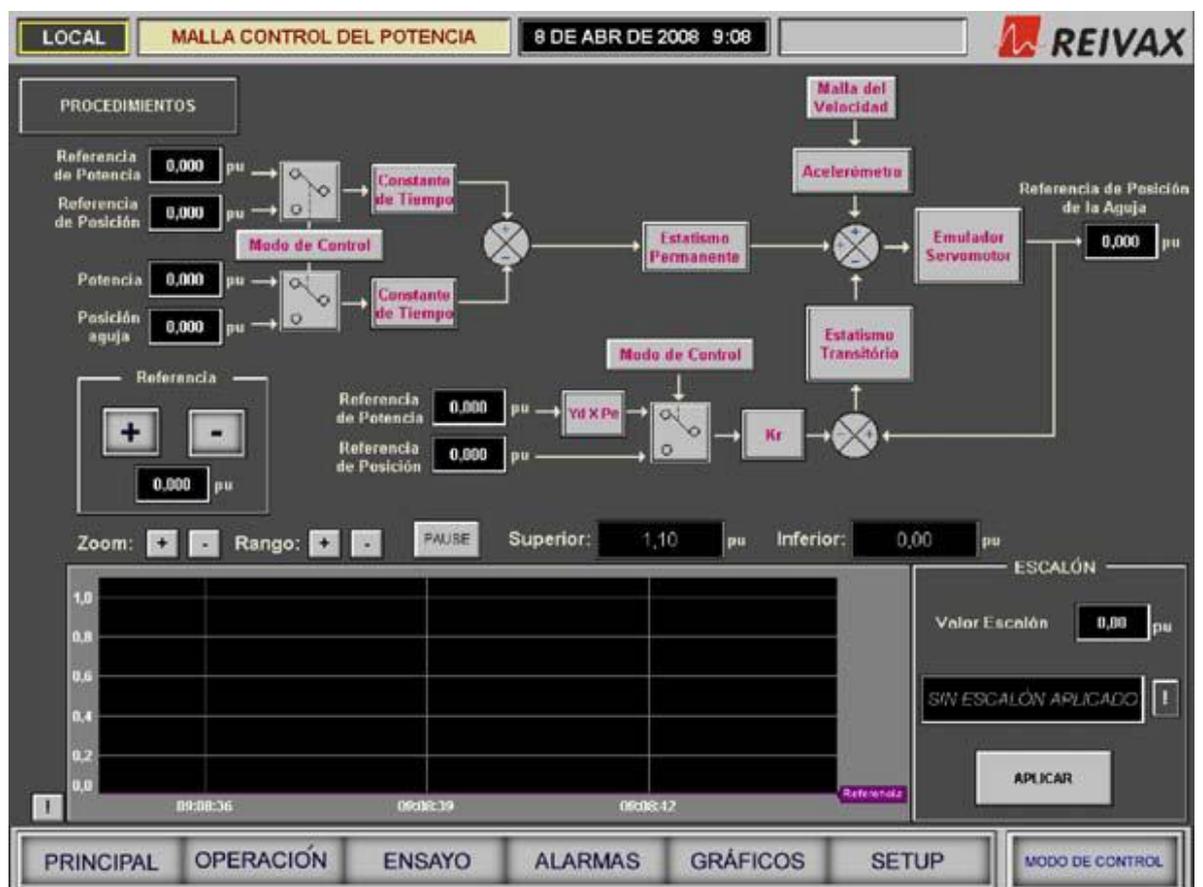


Figura 34. Ajuste de la Malla de Control de Potencia (Central los Chillos REIVAX)

3.2.3.2. DESCRIPCION OPERATIVA

La operación del Regulador digital se separó en diversos procesos, puestos de manera alfabética para mejor comprensión.

a. Medición de Frecuencia

La funcionalidad básica del regulador utiliza dos formas para medir la velocidad que va a controlar:

- **TP:** medición de la frecuencia en la onda de tensión terminal. Esta señal es más adecuada para el control próximo a la banda nominal de velocidad.
- **Pick-up:** medición de la frecuencia adquirida con un sensor inductivo montado junto a una rueda dentada en el rotor. Esta medición es más adecuada para el arranque y el paro de la máquina. Una secuencia habitual de operación es la siguiente:

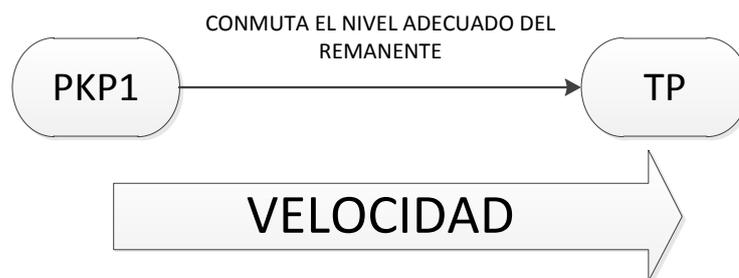


Figura 35. Medición de Frecuencia en el Arranque

La máquina parte con la frecuencia siendo medida por el pick-up, y acelera hasta alcanzar el remanente suficiente para que la medida de frecuencia por el TP sea confiable.

b. Fallas en la Medición de Frecuencia

La configuración tradicional para medición de frecuencia comprende TP y un pick-up. La medición, puede ser hecha vía TP o vía pick-up con buenos resultados, tomando precauciones contra ruidos, en el caso del pick-up, y correcta evaluación del remanente, en el caso del TP. En esta configuración, el tratamiento de fallas es hecho conforme la figura 36.

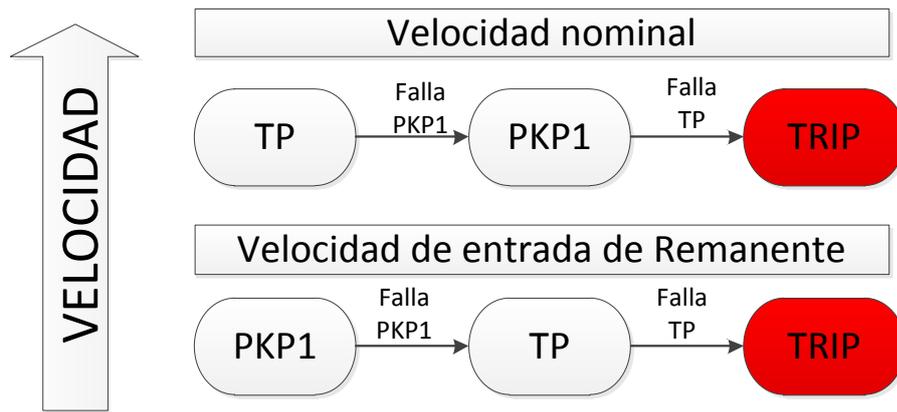


Figura 36. Configuración TP + Pick-up

c. Automatismo de la Unidad Hidráulica

El automatismo de la unidad hidráulica es esencial ya que la sincronización mecánica con la parte electrónica debe ser óptima y exacta (sin margen de error) para el control adecuado de la turbina. La configuración controlable por el regulador es la siguiente:

- Actuación de dos válvulas direccionales (SD).
- Actuación de dos bombas de aceite (SD).
- Medición de temperatura del aceite (EA).
- Medición de presión del aceite (EA).
- Señalización de filtro sucio (ED).
- Señalizaciones de nivel de aceite en el reservatorio (ED).
- Señalización de presión del aceite (ED).

d. Inicio operación manual y automático

En la operación manual, las dos bombas actúan en la presurización de la unidad hidráulica hasta el valor considerado normal. Después de la entrada en la banda de presión normal, la bomba 1 se vuelve responsable por el mantenimiento de la presión.

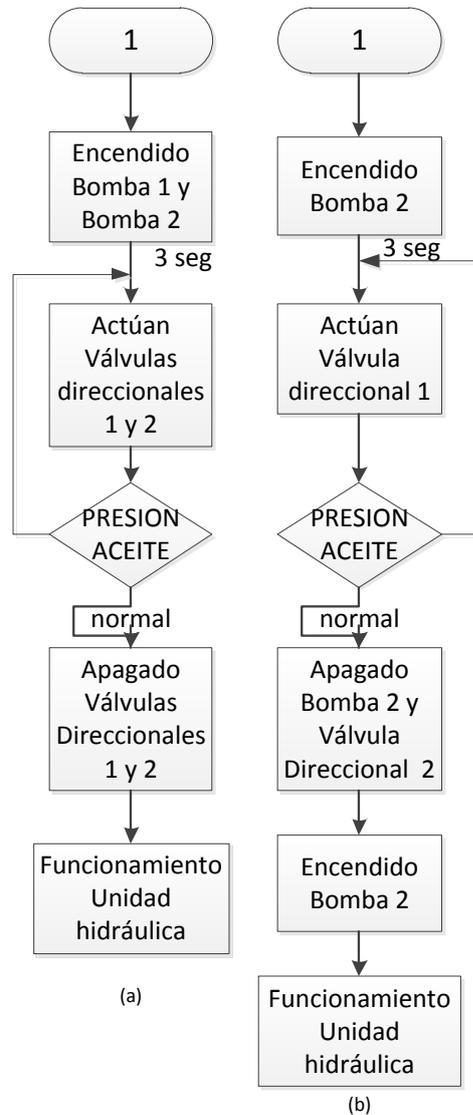


Figura 37. Operación manual UH (a); Operación automática UH (b)

e. Automatismo Válvula Mariposa y By-Pass

Para el automatismo de la válvula mariposa y la By-Pass, en el estado de encendido actúa la válvula By-Pass, si aumentase la presión, abre la válvula mariposa e

inmediatamente actúa el cierre de la By-Pass y el regulador está listo para su funcionamiento.

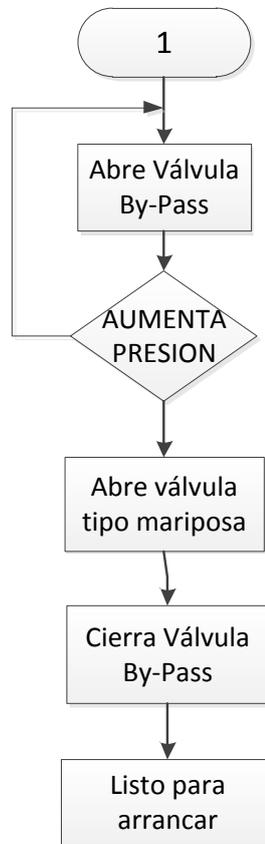


Figura 38. Automatismo VB y BP

f. Arranque

Para que pueda darse el comando de arranque de la turbina, es necesario que el Regulador de Velocidad esté en el estado de *Regulador Listo para arrancar* y con los parámetros satisfechos entre ellos la unidad hidráulica presurizada; válvulas bypass y tipo mariposa posicionadas correctamente. El arranque puede ser realizado de modo automático o del modo paso a paso.

El proceso de arranque de la máquina podrá ser inicializado en el modo de operación remoto, o a través de comando local, desencadenando las siguientes acciones:

1. Comando local o remoto para arrancar la unidad.

2. Posicionamiento de las válvulas bypass y tipo mariposa.
3. El solenoide de arranque deberá estar energizado para pre disponer el circuito hidráulico y consecuentemente el servomotor pueda ser controlado por el regulador.
4. La electro válvula de arranque/paro se acciona por comando de presión las válvulas del piloto hidráulico, permitiendo que la válvula proporcional controle la acción de los servomotores del distribuidor y de las palas del rotor de la turbina.
5. La referencia de velocidad es elevada a 1pu (velocidad nominal). El Sistema de regulación comanda la apertura del distribuidor hasta la posición “Arranque 1”.
6. Después de haber alcanzado una velocidad pre-ajustada, el distribuidor cierra hasta la posición definida en “Arranque 2”, llevando la unidad hasta la velocidad nominal, evitando sobrepaso.
7. Cuando la máquina alcanza velocidad de 1pu, se inicia efectivamente el control de velocidad.

g. Actuador Hidráulico

El actuador hidráulico, servirá como etapa de amplificación mecánica de la señal de control generado por la CPU (unidad de procesamiento de datos). Es compuesto básicamente por:

- Válvula Proporcional.
- Válvula Arranque / Paro.
- Filtros de Aceite.

La señal de control eléctrico, generada en la etapa electrónica del sistema de regulación de velocidad, es transmitida para la válvula proporcional. A su turno la válvula proporcional transmite una señal hidráulica para el servomotor de forma a

mantener la velocidad de la turbina estable y en el valor definido por la referencia de frecuencia.

El estado primario de amplificación, se realizara por la válvula proporcional, que dirige el aceite bajo presión para la cámara de control, otra para el lado de apertura, otra para el lado de cierre del servomotor. Éste efectúa el control de velocidad de la turbina, actuando sobre las paletas del distribuidor y sobre las palas del rotor de la turbina.

Un sistema de moto-bombas es responsable por mantener el nivel y la presión de aceite del globo aire / aceite dentro de los parámetros operacionales.

h. Operación con carga

El estado operativo “*Generador en Carga*” es identificado por el Sistema de Regulación de Velocidad a través de la habilitación de la entrada digital (estado del disyuntor de grupo 52), definiendo una nueva condición operativa, en la cual son contemplados:

- Los ajustes de ganancia y de las constantes de tiempo de adelanto y retroceso del controlador directo (parámetros del control). Los cuales, son conmutados automáticamente de los valores a vacío para los valores en carga.
- El ajuste del limitador de carga es liberado para variaciones de 0 a 1pu.
- Los ajustes de estatismo transitorio (parámetros del control) son conmutados de los valores a vacío para valores en carga.
- Es activado el estatismo permanente (estabilizador constante) de potencia para el modo de operación seleccionado: red aislada o red interconectada.
- La referencia de potencia es llevada a un valor determinado (potencia inicial).

i. Paro del Generador

El regulador fue desarrollado para realizar 3 tipos de paros distintos:

- Paro Normal;
- Paro Parcial;
- Paro emergencia

1. Paro Normal

El comando de paro normal para el Regulador de Velocidad es recibido por la CPU a través de una entrada digital. La CPU al recibir el comando de paro lleva la referencia del Regulador (setpoint carga) gradualmente a cero, lo que hace que la potencia generada disminuya de acuerdo con una tasa pre-definida. Cuando la potencia activa sea menor que el valor determinado, es energizado un relé de potencia nula (RPN). Un contacto NA de este relé, podrá ser usado para comando de apertura del disyuntor de grupo. Concretada la apertura del disyuntor principal, el regulador activará algoritmos de paro que conducen la referencia de velocidad y limitador de apertura hasta cero. Como consecuencia, la turbina tendrá su velocidad reducida, hasta su paro. Después del bloqueo del distribuidor, se iniciará el cierre de la válvula tipo mariposa, llevando la unidad al estado de bloqueo.

2. Paro Parcial

El comando de paro parcial para el Regulador de Velocidad es recibido por la CPU a través de una entrada digital. La CPU al recibir el comando de paro parcial lleva la referencia del Regulador (setpoint carga) gradualmente a cero, lo que hace con que la potencia generada disminuya de acuerdo con una tasa pre definida. Cuando la potencia activa sea menor que determinado valor, es energizado un relé de potencia nula (RPN). Un contacto NA de este relé disponible es usado para comando de apertura del disyuntor de grupo. Concretada la apertura del disyuntor principal, el regulador mantendrá la unidad generadora funcionando en la velocidad nominal a vacío. El limitador será cerrado automáticamente para la posición de “Arranque 2”, definido previamente en el panel del control. Con la máquina operando a vacío, el

comando de paro parcial llevará la referencia de velocidad y el limitador de apertura a cero, cerrando el distribuidor. Un paro parcial adicional hará con que la válvula tipo mariposa cierre.

3. Paro de Emergencia

El comando de paro de emergencia puede ser provocado por la actuación del relé de bloqueo de la unidad generadora (causas externas), por la actuación directa de la CPU de control, a través del relé de falla (causas internas). El disparo del relé de bloqueo desenergiza el solenoide de arranque provocando el cierre del distribuidor y consecuentemente, la reducción de la velocidad de la turbina hasta su paro total. El tiempo de cierre del distribuidor será en velocidad máxima, determinada por la propia velocidad y vaciamiento de la válvula distribuidora.

3.2.3.3. UNIDAD HIDRAULICA

La unidad hidráulica (UH) tiene la función principal de actuar como un amplificador mecánico de los comandos generados por el regulador de velocidad y controladores auxiliares, suministrando potencia compatible para el accionamiento del servomotor¹¹.

Además, deberá cumplir funciones auxiliares tales como: Acondicionar el aceite de manera apropiada, garantizar la filtración necesaria, suministrar presión suficiente, acumular aceite presurizado, limitar la presión del sistema y señalar condiciones de falla. Para realizar estas funciones, la unidad hidráulica es compuesta básicamente por:

- Bombas de desplazamiento fijo, tipo engranaje y una bomba manual.

¹¹ DAUX, R. J. (2008). *Manual técnico de la unidad hidráulica*. Sao Paulo: REIVAX Automação e Controle.

- Sensor de temperatura, llave de nivel y bocal con filtro.
- Válvulas de seguridad.
- Registros para aislamiento.
- Transductor de presión y módulo controlador para lógica de comando de las bombas y alarmas.
- Filtro doble, con indicación de filtro sucio, conmutación por válvula de 3 vías.
- Acumulador de vejiga, con gas nitrógeno.
- Actuador utilizando válvula proporcional con mando electrónico.
- Válvula para cierre de emergencia del servomotor del inyector.

En el anexo 4, se encuentra estructurado el plano de la unidad hidráulica aplicada para el regulador digital.

a. Sistema de bombeo

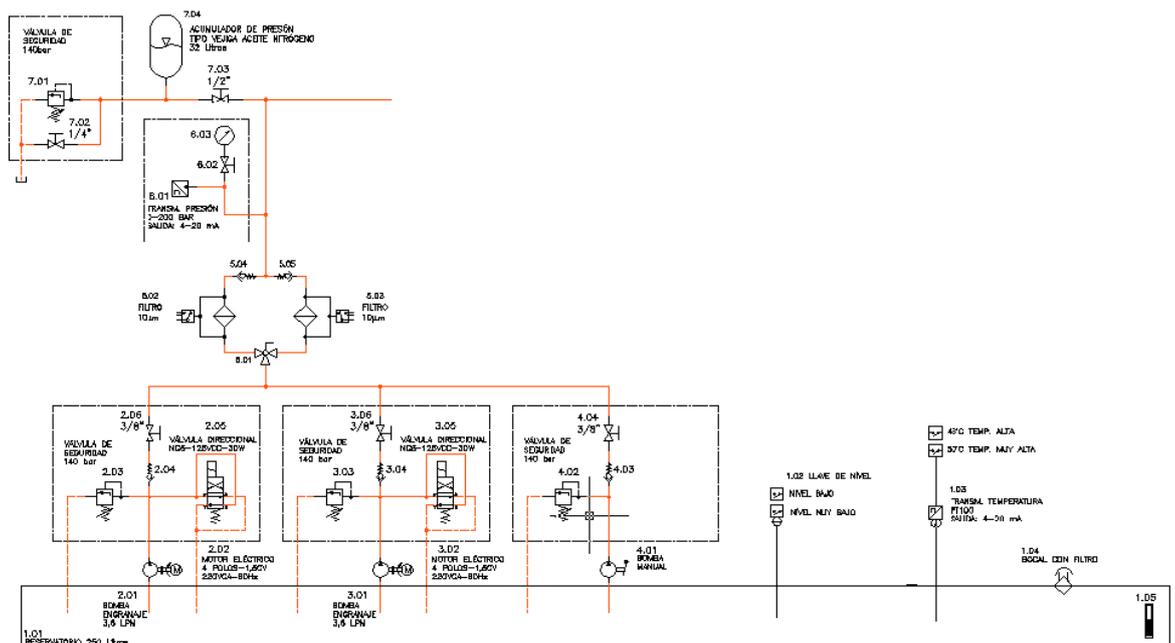


Figura 39. Diagrama sistema de bombeo Unidad Hidráulica (manual UH REIVAX)

El sistema de bombeo de aceite es compuesto por el reservatorio, motores eléctricos y bombas de desplazamiento fijo (2.01 y 3.01), una bomba manual (4.01), filtros de presión (5.02 y 5.03), válvulas de seguridad de las bombas (2.03; 3.03 y 4.02), válvula de seguridad del acumulador (7.01), sensor de temperatura (1.03), llave de nivel (1.02) y acumulador (7.04)¹².

La presión del sistema es medida por un transmisor de presión (6.01) que envía una señal analógica para el panel de control de la unidad hidráulica (PUH), donde todos los modos de operación pueden tener sus setpoint alterados. En paralelo a las bombas, están instaladas las válvulas de seguridad (2.03; 3.03 y 4.02), cuyo objetivo es limitar la presión máxima del circuito, garantizando la integridad del sistema en el caso de falla en el mecanismo de control de presión de la unidad. La presión ajustada en las válvulas puede ser verificada en el diseño mecánico funcional.

También en paralelo a las bombas de desplazamiento fijo están instaladas válvulas de intermitencia (2.05; 3.05 y 4.04). Estas válvulas, en la posición desactivada, o sea, solenoide desenergizado, permiten que todo el caudal generado por las bombas sea conducido directamente al reservatorio. De esta manera, se dice que las bombas trabajan en vacío, pues no alimentan el sistema con presión.

Cada filtro está equipado con presóstato de indicación de saturación del elemento filtrante y válvula de retención. El indicador de saturación tiene la función de indicar que el elemento filtrante necesita ser cambiado. Solamente uno de los filtros está en operación, el otro es reserva. Para el caso del filtro en uso presentar defecto o necesitar que el elemento filtrante sea cambiado, el otro filtro puede ser tempranamente colocado en acción, simplemente se operando manualmente la válvula conmutadora (5.01) sin la necesidad de parada de la máquina.

¹² DAUX, R. J. (2008). *Manual técnico de la unidad hidráulica*. Sao Paulo: REIVAX Automação e Controle.

b. Sensores y Válvulas

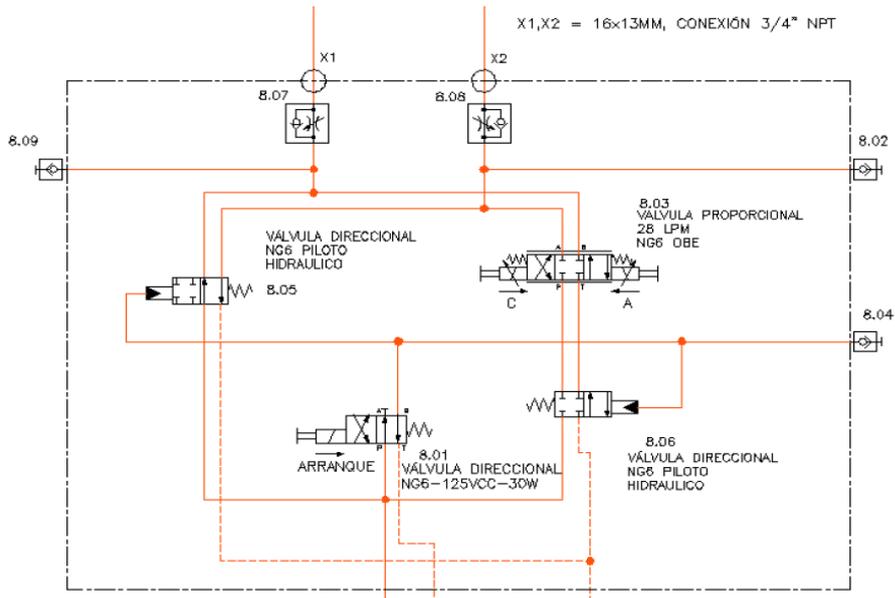


Figura 40. Válvulas y sensores (manual UH REIVAX)

Las tablas abajo, listan todos los sensores y válvulas montados en la unidad hidráulica que tienen interfaz con los equipos de control de la planta.

- **Sensores unidad hidráulica:**

Referencia	Descripción	Salida	Set points	Acción
1.03	Transductor de temperatura	4 - 20mA	-	Indicación
		2 Contactos	45°C	Alarma
			50°C	Disparo
1.02	Llave de nivel	2 Contactos Reversibles	Bajo	Alarma
			Muy Bajo	Alarma
6.01	Transmisor de presión	4 - 20mA	-	Indicación
		2 contactos	100 bar	Alarma
			95 bar	Disparo
6.03	Manómetro	Local	-	Indicación
5.02	Indicador filtro sucio	1 contacto reversible	6 bar (fijo)	Alarma
5.03	Indicador filtro sucio	1 contacto reversible	6 bar (fijo)	Alarma

Tabla 17. Sensores unidad hidráulica principales
Fuente: DAUX, R. J. (2008). *Manual técnico de la unidad hidráulica*.

- **Válvulas de la Unidad Hidráulica:**

Referencia	Descripción	Interfaz	Ajuste
2.03	Válvula de seguridad	Ajuste local (tornillo)	140 bar
3.03	Válvula de seguridad	Ajuste local (tornillo)	140 bar
4.02	Válvula de seguridad	Ajuste local (tornillo)	140 bar
7.01	Válvula de seguridad (acumulador)	Ajuste local (tornillo)	140 bar
8.03	Válvula proporcional	Control de servomotores	Electrónica embarcada
8.01	Válvula direccional-mando arranque/paro	Mando eléctrico externo	Solenoides 125 Vcc
8.05	Válvula direccional piloto hidráulico NG6	Piloto hidráulico	-
8.06	Válvula direccional piloto hidráulico NG6	Piloto hidráulico	-
8.07	Válvula limitadora de caudal	Tiempo de apertura del servomotor	-
8.08	Válvula limitadora de caudal	Tiempo de cierre del servomotor	-
2.05	Válvula intermitente	Reposición de presión.	Solenoides 125 Vcc
3.05	Válvula intermitente	Reposición de presión.	Solenoides 125 Vcc

Tabla 18. Válvulas de la Unidad Hidráulica principales

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *Manual técnico de la unidad hidráulica*.

c. Componentes principales de la unidad hidráulica

El Panel de la Unidad Hidráulica (PUH) cumplirá las funciones de comando y supervisión del sistema de reposición de aceite en el acumulador de presión. Una señal analógica de presión será enviada al panel de control, donde en el conversor analógico/digital, es programado los valores de ajuste de presión de aceite, para control de la reposición automática de aceite en el acumulador por medio de una señal analógica de 4 a 20mA proveniente del transmisor de presión. Además de la señal analógica, está disponible en el PUH, los contactos de alarma y bloqueo de la unidad.

- **Relés Auxiliares:** Desarrollan las lógicas de control y cuando es necesario, hacen la interfaz del sistema con el medio externo.

- **Convertor de Presión:** Permite obtener el valor de la presión en el acumulador a través de entrada analógica, indicando el valor a través de un display digital y haciendo actuar los relés conectados a sus salidas cuando sea necesario precisar los valores de ajuste de presión.
- **Convertor de Temperatura:** Permite obtener el valor de la temperatura del aceite a través de entrada analógica, indicando el valor a través de un display digital y haciendo actuar los relés conectados a sus salidas a relé cuando sea necesario precisar los valores de ajuste de temperatura.
- **Función de selección:** Se realizan las funciones de seleccionar el modo de funcionamiento y la bomba principal.

d. Funcionalidades básicas

- **Moto bomba del regulador**

Su funcionamiento se da por medio de dos comandos que definen el modo de operación manual o automático. En el modo automático, la bomba entra en funcionamiento solamente a través del comando de partida, proveniente del controlador. En este caso, la bomba entra en carga cuando el acumulador atinge la presión de baja intermitencia 1 y opera a vacío en el intervalo.

Entre esta presión y la presión de alta intermitencia. Este ciclo se repite a lo largo de la operación de la máquina. En el modo manual, la bomba entra en operación, independiente del comando del controlador. Este modo de operación es útil para calibrar el sistema y hacer ajustes en el servomotor sin que sea necesario iteración con la parte electrónica del regulador.

- **Presión de aceite**

La señal analógica de presión de aceite será enviada al panel de la unidad hidráulica (PUH), a través de transmisor de presión. En el módulo conversor de presión serán programados los setpoint de presión de aceite, que energiza los relés RP1 (Presión activa bomba), RP2 (presión de disparo), presión alta y presión baja en el acumulador. Los valores de setpoint de presión son ajustables. Está disponible una señal analógica de presión, proveniente del módulo electrónico del PUH, y también contactos secos de los relés de presión.

- **Niveles de aceite**

Una señal digital, proveniente de la Unidad Hidráulica, entra en el circuito de comando de las bombas, para que estas operen protegidas contra operación con nivel bajo de aceite. O sea, cuando el nivel de aceite del reservatorio tenga un nivel bajo, las bombas serán desconectadas o desactivadas automáticamente.

- **Temperatura del aceite**

Una señal proveniente de un sensor de temperatura a instalarse en el reservatorio de aceite, entra en el PUH y se dirige para un módulo conversor. Este módulo posee dos salidas a relé, con puntos de actuación ajustables, de acuerdo con los niveles de temperatura deseados (temperatura alta y muy alta).

f. Señales de la planta para la Unidad hidráulica

Comandos	Función
Apertura / Encierro Válvula Mariposa	Comanda la apertura / encerramiento de la Válvula Mariposa remotamente
Apertura / Encierro Válvula Bypass	Comanda la apertura / encerramiento de la Válvula Bypass remotamente
Partida/parada	Comanda de la Válvula de partida/parada Remotamente
Partida PUH	Comanda la partida del PUH remotamente

Tabla 19. Comandos principales usados en la unidad hidráulica

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *Manual técnico de la unidad hidráulica*.

g. Limpieza de los filtros de presión

El sistema tiene dos elementos de filtración, un DE SERVICIO y otro DE RESERVA. La transferencia de la condición DE SERVICIO para la condición DE LIMPIEZA y de la condición DE RESERVA para la condición DE SERVICIO, ocurre conmutando la válvula de tres vías ubicada en la entrada de los filtros.

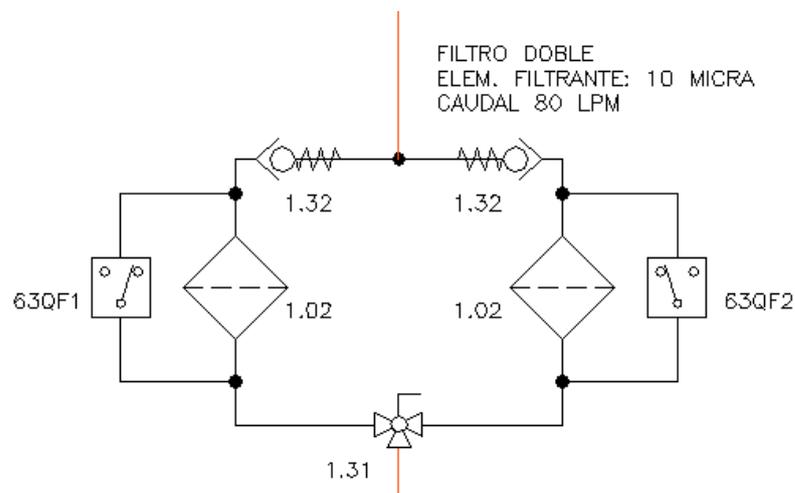


Figura 41. Filtro Doble (manual UH REIVAX)

3.2.3.4. CONTROL, AUTOMATIZACIÓN Y EQUIPOS

La instalación de reguladores de turbina electrónicos se ha generalizado en los últimos años y no sólo en nuevas unidades sino también en unidades antiguas bajo programas de modernización. Los reguladores electrónicos ofrecen gran número de ventajas sobre los reguladores mecánicos. Entre otras se puede destacar la facilidad para incorporar funciones de regulación y para variar sus ajustes dependiendo de condiciones externas, la factibilidad y alta seguridad en sus controladores y actuadores.

a. Funciones de Transferencia

A continuación se presenta los diagramas de control y modelos simplificados para estudios de estabilidad que contemplen de manera fiel el comportamiento dinámico.

Los valores típicos presentados corresponden los valores de análisis típicos durante el montaje y diseño de la máquina. Es importante resaltar que para fines de estudios de estabilidad, pasos de cálculo del orden de 1ms están adecuados.

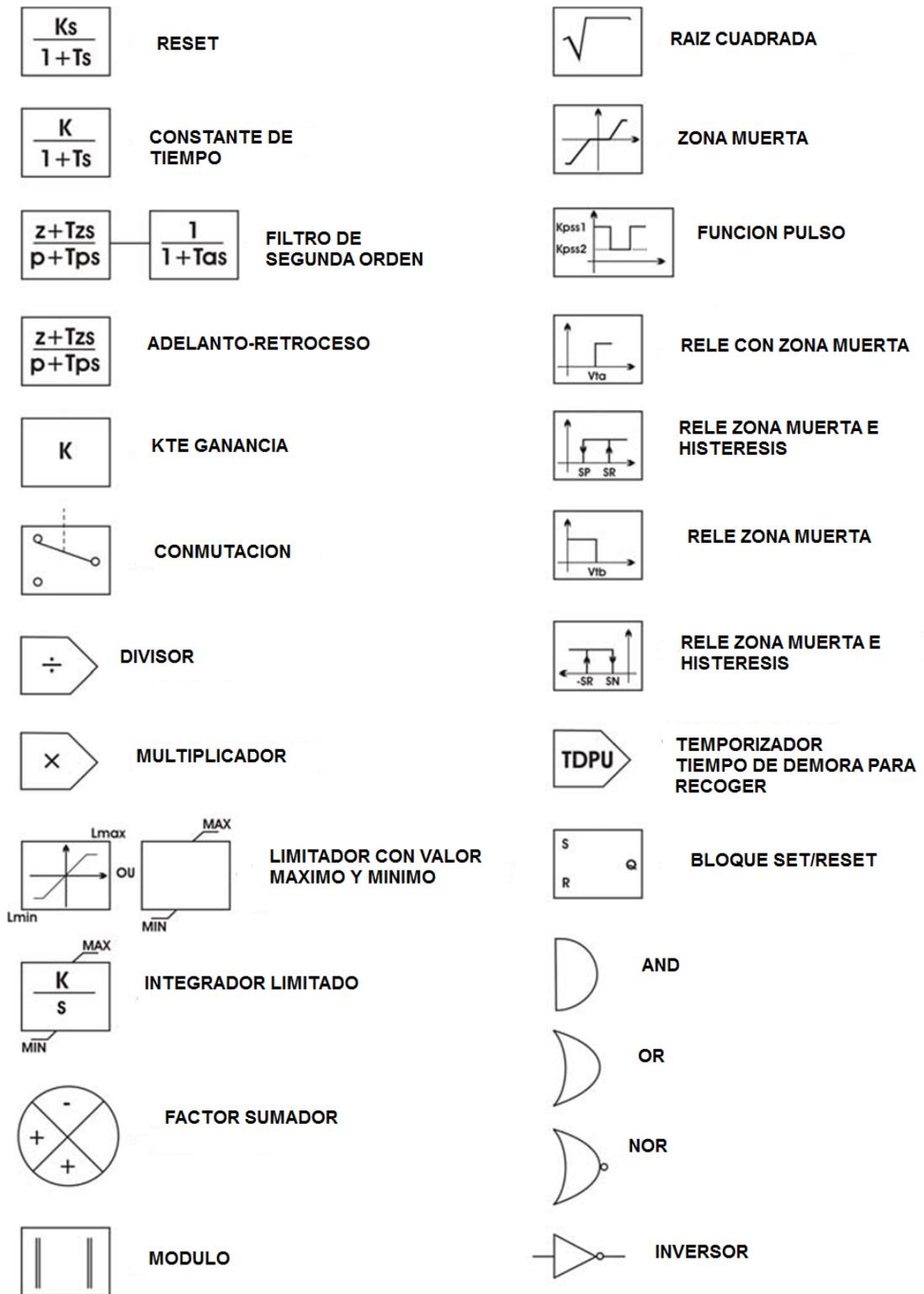


Figura 42. Simbología Adoptada (manual Usuario REIVAX)

b. Diagrama de bloques del regulador de velocidad

El diagrama de control de velocidad comprende un actuador con válvula proporcional OBE *OnBoard Electronic* (sobre paso electrónico). Esta configuración posiciona el actuador a través de una señal de tensión directo de la CPU a la válvula proporcional OBE. La misma estructura es utilizada para el posicionamiento del rotor. La señal de posición del actuador utiliza un sensor de posición, con valor realimentado directo para la CPU, pudiendo haber escalonamiento externo por circuito condicionado. La Figura 43 presenta esta configuración.

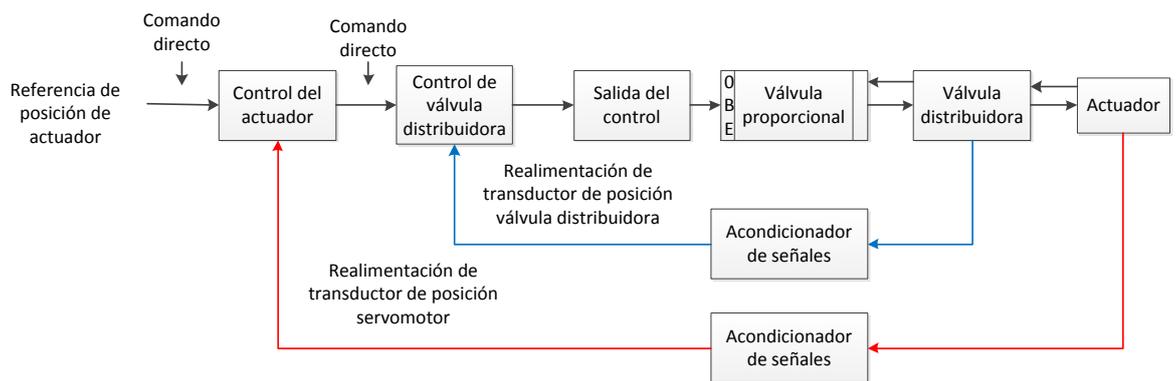


Figura 43. Diagrama de bloques con válvula proporcional y distribuidora

La Figura 44 presenta el diagrama de control de velocidad, que puede ser descrita de una forma simplificada en un control PID. Las diferencias básicas en relación al PID clásico son las siguientes:

- El PID es compuesto por la cascada de un control PI con un PD.
- El PD (T_n) procesa sólo la variación del desvío de frecuencia.
- El PI es sintetizado con un integrador (cuya salida es punto referencia para el servomotor), realimentando por un bloque de acción derivativa (B_t, T_d).
- Existe una acción adicional de *feed-forward* (para rampas de potencia).

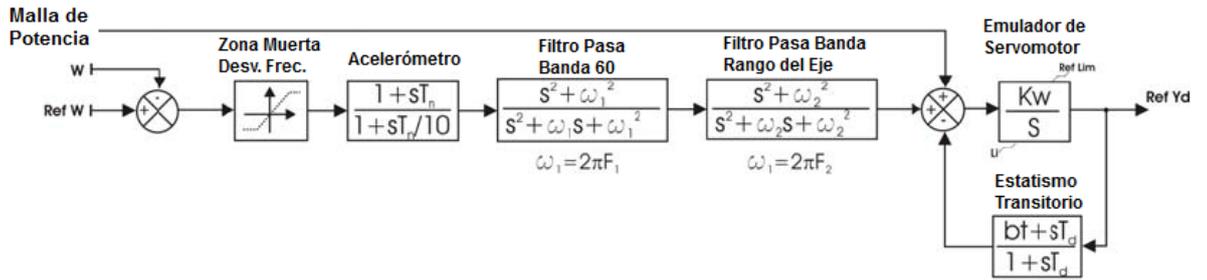


Figura 44. Función de Transferencia de la Malla de Control de Velocidad

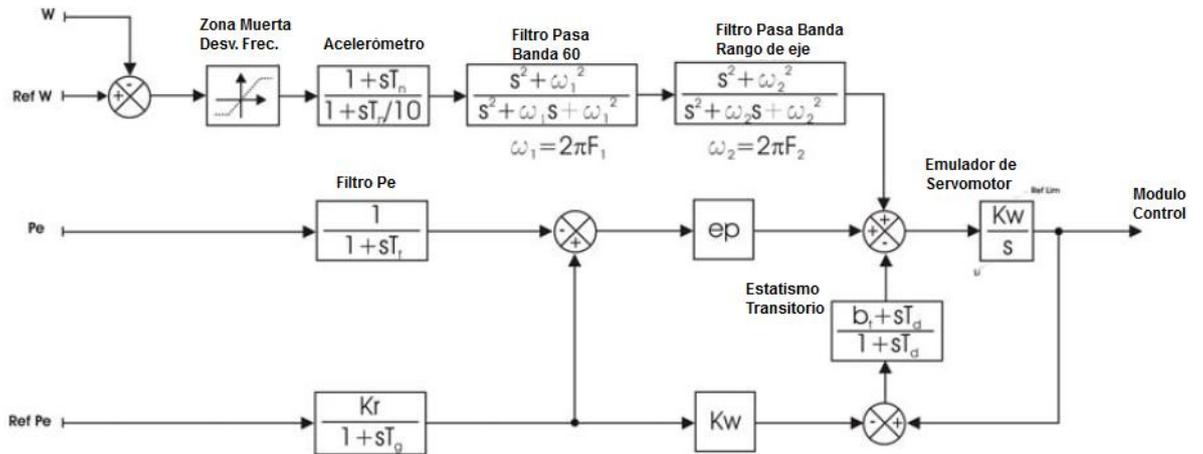


Figura 45. Función de Transferencia de la Malla de Control de Carga y Velocidad

• **Parámetros de la Función de Transferencia del Regulador de Velocidad:**

Símbolo	Parámetro	Unidad	Mínimo	Típico	Máximo
K_w	Ganancia del emulador del servomotor	pu/pu	1,00	50,00	327,67
b_t	Estatismo transitorio	pu	0,00	0,30	3,27
T_d	Constante de tiempo derivativo	s	0,00	10,00	32,76
F_1	Corta franja 60 (F1)	Hz	1,00	60,00	327,67
F_2	Corta franja eje (F2)	Hz	1,00	30,00	327,67
T_n	Constante del acelerómetro	s	0,00	0,00	32,76
ep	Estatismo permanente	pu	0,00	0,05	3,27
T_f	Constante de tiempo en la medición de potencia	s	0,00	0,01	32,76
K_r	Ganancia de la medición de la referencia de Pe	pu	0,00	50,00	327,67
T_g	Constante de tiempo en la medición de la referencia de Pe	s	0,00	0,01	32,76

Tabla 20. Parámetros generales de la función de transferencia del regulador de velocidad

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *RVX energy manual regulador automático de velocidad.*

c. Función de Transferencia de la Malla de Control del Distribuidor

En el sistema de control de distribuidor, se asume los siguientes parámetros:

Símbolo	Parámetro	Unidad	Mínimo	Típico	Máximo
Ki_1	Ganancia proporcional de la malla de control de la Yd	pu	0,00	20,00	327,67
Kp_1	Ganancia integral de la malla de control de la Yd	pu	0,00	40,00	327,67
Ls_1	Límite superior de la malla de control de la Yd	pu	0,00	0,15	32,76
Li_1	Límite inferior de la malla de control de la Yd	pu	-32,76	-0,15	0,00
z_1	Valor fijo en "1"	-	-	-	-
p_1	Valor fijo en "1"	-	-	-	-
Tz_1	Constante de Tiempo de Avance	-	0,00	0,05	32,76
Tp_1	Constante de Tiempo de Atraso	-	0,00	0,05	32,76

Tabla 21. Parámetros generales de la función de Transferencia de malla de control del Distribuidor

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *RVX energy manual regulador automático de velocidad.*

La función de transferencia del distribuidor es la siguiente:

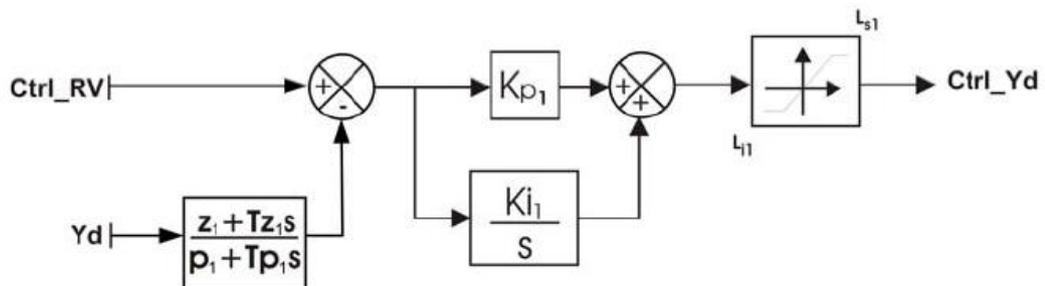


Figura 46. Función de Transferencia de la Malla de Control del Distribuidor

d. Función de Transferencia de la Malla de Control de la Válvula Distribuidora

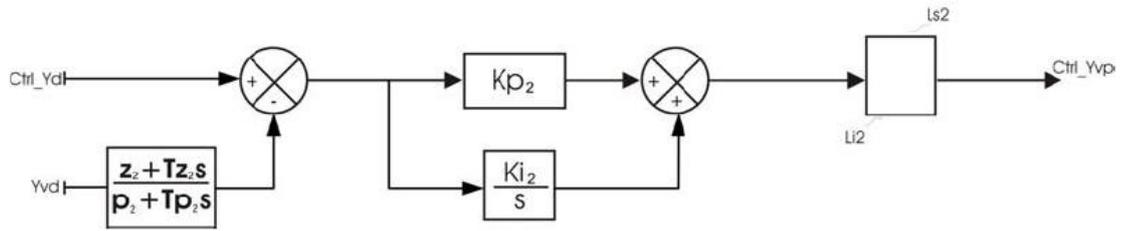


Figura 47. Función de Transferencia de la Malla de Control de la Válvula Distribuidora

Los Parámetros de la Función de Transferencia de Control de la Válvula Distribuidora son los siguientes:

Símbolo	Parámetro	Unidad	Mínimo	Típico	Máximo
Ki_2	Ganancia proporcional de malla de control la Yvd	Pu	0,00	20,00	327,67
Kp_2	Ganancia integral de malla de control de Yvd	Pu	0,00	40,00	327,67
Ls_2	Límite superior del lazo de control de Yvd	Pu	0,00	0,15	32,76
Li_2	El límite inferior del lazo de control de Yvd	Pu	-32,76	-0,15	0,00
z_2	Valor fijo en "1"	-	-	-	-
p_2	Valor fijo en "1"	-	-	-	-
Tz_2	Constante de tiempo de avance	-	0	0,05	32,76
Tp_2	Constante de tiempo de retroceso	-	0	0,05	32,76

Tabla 22. Parámetros generales de la función de Transferencia Control de la Válvula Distribuidora.

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *RVX energy manual regulador automático de velocidad.*

3.2.3.5. VENTAJAS DE LA REHABILITACIÓN COMPLETA

- No requiere transductor de posición interno, auto regulado (no requiere redundancia).
- Corto tiempo de puesta en marcha por su ajuste de laboratorio inmediata.

- En sitio, solamente requiere ajuste mecánico de cero, posibilidad de “limpieza y flujo” en marcha
- Bajos costos de mantenimiento (depende de calidad de aceite y frecuencia como cambian/limpian filtros).

A nivel hidráulico podemos obtener:

- Mayor presión y nivel de filtración de aceite.
- Nuevos servomotores.
- Nuevo acumulador.
- Nueva unidad de bombeo.
- Nuevas válvulas.
- Nueva instrumentación.

4.1. CONCEPTOS

4.1.1. GENERALIDADES

La Puesta en Servicio y análisis de resultados es la colocación en operación de un equipo. Esto hace las pruebas y el manejo respectivo de todos los parámetros de los diagramas de control y del sistema de potencia encontrados en los sistemas de regulación de Velocidad y Reguladores de Tensión Velocidad. Dichos sistemas, obedecerán a normas de seguridad, procedimientos, propios del manejo y mantenimiento de la central Carlos Mora Carrión.

Además se analizará un método de ajuste de los reguladores basado en estimación de parámetros, siendo el método más simple para minimizar el error entre la respuesta del sistema y la respuesta de un modelo de referencia. Para el regulador como se observó en el capítulo 3 usamos un sistema de segundo orden, y se ajusta al modelo digital de turbinas hidráulicas.

Típicamente el sistema usado consta de 3 controladores de tipo PID: el regulador de posición del distribuidor, el regulador de velocidad (gobernador) y el regulador carga-velocidad. Con el método propuesto se ajusta primero el regulador de posición del distribuidor, y de manera independiente los de velocidad y de carga-velocidad. El regulador de velocidad controla la turbina en vacío, mientras que el de carga-velocidad lo hace con carga plena. Por medio del SIMULINK de MATLAB implementaremos.

4.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SISTEMA DEL REGULADOR DIGITAL GRUPO 2

En la figura 48 se encuentra un diagrama de flujo que describe el proceso de control y distribución que utiliza el regulador para mantener la velocidad y por ende la frecuencia nominal de funcionamiento, tanto en los momentos de estabilidad como ante las perturbaciones existentes.

Lo primero en aplicar, es un muestreo de la frecuencia o velocidad actual de la turbina. Este se compara con la frecuencia nominal, esto para verificar la existencia de algún disturbio. En caso de la existencia del mismo, se calcula la diferencia de las frecuencias y junto con la posición actual de la válvula de agua, se obtienen el porcentaje de abertura de la aguja que se necesita para corregir la posición de dicha válvula ya sea para cerrarla o abrirla. Posteriormente se sonde al potencia entregada por el generador y comparándole con la que se debe aumentar o disminuir dependiendo del caso, para contrarrestar el disturbio ocurrido inicialmente en la frecuencia o velocidad del sistema. En la siguiente tabla se determinan las variables de entrada y salida óptimas para el funcionamiento del regulador.

Entrada	Descripción	Salida	Descripción
Velocidad de referencia Rango de 90-100%	Velocidad a la que se desea mantener el sistema (60Hz)	Velocidad actual	Velocidad actual del sistema
Potencia de referencia Rango de 0-100%	Potencia deseada para mantener la frecuencia constante en el sistema	Porcentaje de abertura actual	Abertura de los álabes actual
Porcentaje de abertura de referencia Rango de 0-100%	Abertura de los álabes deseada para mantener la frecuencia constante del sistema		
Carga Rango de 0-100%	Potencia de consumo, que provoca la perturbación del sistema		

Tabla 23. Entradas y Salidas óptimas para el funcionamiento del regulador electrónico

Fuente: OBANDO, L. D. (Noviembre de 2002). *Diseño de un simulador para el gobernador de una planta hidroeléctrica en lenguaje LabView*

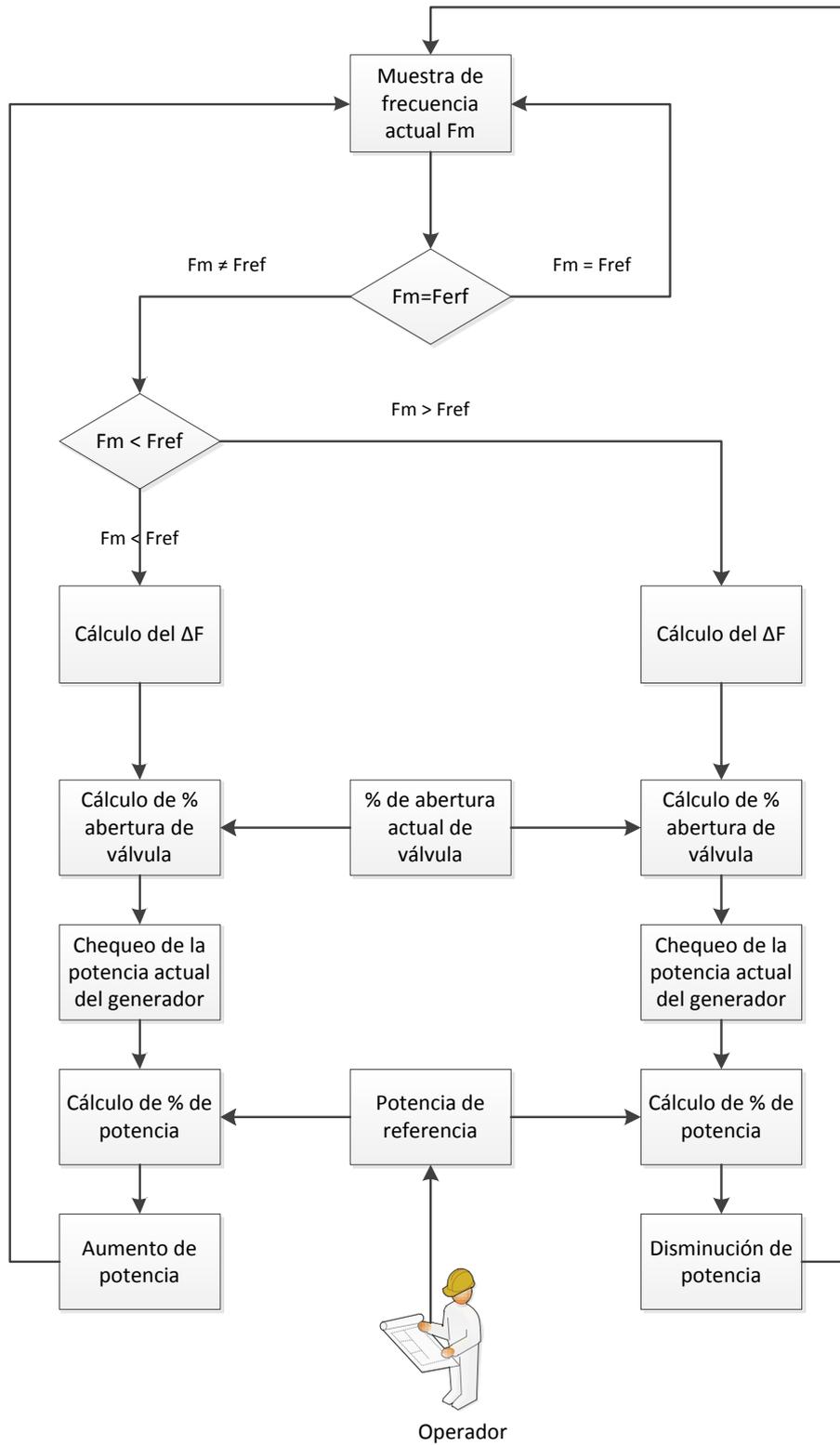


Figura 48. Diagrama de flujo de regulador electrónico digital.

4.2. PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.

Las pruebas de ensayos y puesta de servicio son muy importantes ya que permitirán verificar el funcionamiento del equipo. En los ensayos utilizamos toda la parte mecánica de control de posición del distribuidor se espera tener el nivel de seguridad al 99% y la calidad óptima de funcionamiento sin riesgo para el generador. A continuación se describe cada una de ellas.

4.2.1. PRUEBA EN AGUA MUERTA

En esta prueba, se realizarán todos los ensayos que se necesitan del conjunto generador–turbina parada. Siendo así, la tubería debe estar totalmente vacía. En toda esta etapa trabaja en circuito cerrado para el control de posición de las válvulas y activadores del Sistema de Regulación de Velocidad.

a. Presurización sistema de aceite.

Después del montaje del circuito hidráulico o de los cambios en el sistema hidráulico debe ser realizada la presurización del sistema para verificar posibles fugas, cambios en el funcionamiento, trabas, etc. Además verifica que los sensores, bobinas, válvulas y medidores estén en correcto funcionamiento para la operación óptima de la unidad hidráulica.

b. Instalación de sensores

La instalación del sensor de desplazamiento de la válvula es normalmente efectuada sobre un soporte mecánico unido a válvula distribuidora.

Sensor desplazamiento de servo: La instalación de este sensor será para el desplazamiento del servo del distribuidor y tendrá una alimentación de 15VCC proveniente del regulador, la señal de retorno varía de 0 a 10VCC en un trayecto desde la apertura al cierre respectivamente.

Sensor de Frecuencia Pick Up: son sensores de proximidad u ópticos, que generan señales en forma de onda cuadrada. El sensor de medición de frecuencia por

PICKUP, junto a una rueda dentada con una separación de aproximadamente 5mm. Serán instalados 2 sensores, colocados 180° uno del otro enviando así 2 señales de medición por PICKUP a CPU.

Sensor de frecuencia por condicionamiento de señal TP: La medición de frecuencia por condicionamiento de la señal oriunda del transformador de potencia (TP) de una de las tensiones de salida del generador, normalmente de la fase A, utiliza un conversor (CS1 y CS2) de señales de onda sinodal a una onda cuadrada de tensión compatible con la entrada de medición de frecuencia de la unidad de procesamiento del sistema de regulación.

c. Evaluación de capacidad hidráulica

La evaluación de la capacidad de la Unidad Hidráulica será realizada para comprobar el dimensionamiento de la capacidad de movimiento de la unidad hidráulica sin reposición de la presión por las bombas.

d. Ajuste de los transductores de posición

Estos ajustes necesariamente deberán ser hechos en agua muerta. Para ajustar los transductores de posición de válvulas, es necesario mover las válvulas y consecuentemente los activadores. Comandar el valor máximo de apertura de la válvula proporcional y después el comando de máximo cierre, estos comandos corresponden a una salida de 10V, para apertura y - 10V para cierre. El ajuste de los transductores es realizado verificando los extremos de las excursiones de los activadores y válvulas en apertura y cierre.

Las señales provenientes de los transductores de posición de la válvula y del servomotor necesitan ser condicionados de forma que la CPU interprete tales valores de tensión como la posición correcta de los mismos. El objetivo de estos ajustes, es garantizar la perfecta realimentación de los componentes mecánicos, otorgando una buena calidad de la regulación. La calidad de la regulación depende directamente de

la calidad de las medidas re-alimentadas y siendo así es muy importante que el ajuste se realice con precisión.

e. Máxima velocidad de apertura y cierre del activador

El ajuste de máxima apertura y cierre de los servos en el Regulador de Velocidad es de fundamental importancia en una Puesta en Servicio, debido a las restricciones impuestas por los componentes de la turbina, tales como, conducto forzado, cámara de carga, caracol, etc. Además de la sobrepresión causada en los conductos y en la turbina, es importante saber que la respuesta de cierre en máxima velocidad de un Regulador de Velocidad a un rechazo de carga está directamente relacionada a una mayor o menor sobre velocidad.

El Ajuste de máxima velocidad de apertura y cierre de los servos-motores es realizado a través de válvulas reguladoras de desagüe en la salida de la Unidad Hidráulica. En el caso que no exista válvulas para este ajuste es necesario colocar gickles (émbolos de escape) en la línea de presión en los comandos de apertura y cierre de cada servo.

f. Ajuste de los diagramas de control

La calidad del control de velocidad y potencia dependerá directamente de la calidad del ajuste de los diagramas de control del activador electro-hidráulico y válvulas. Para obtener la mejor respuesta, el ajuste del controlador, es efectuado a través de la respuesta al escalón aplicado en sus referencias, a través del comando directo del controlador y verificando su posicionamiento rápido, sobrepaso y el mínimo error en régimen. Existen básicamente 2 diagramas de control de posición:

- diagrama de control de la válvula distribuidora del activador
- diagrama de control del activador

En la figura 49, se puede observar el diagrama en bloques completo, del control de un activador electro-hidráulico, este posee la realimentación del servo-motor y de la válvula distribuidora, y la válvula proporcional ya no necesita de realimentación pues su posicionamiento es efectuado por la electrónica de la misma.

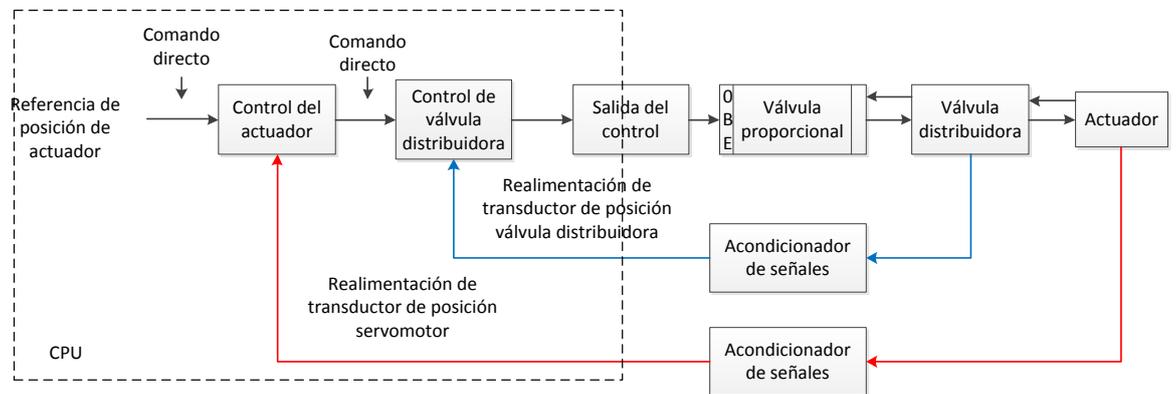


Figura 49. Diagrama completa de control.

Cada una de estos bloques, se constituye en un controlador PID, combinado con un compensador de zona muerta. Se observa su interdependencia entre mallas consecutivas. De esa manera, la malla de la válvula distribuidora controla el servo-motor y corrige su error a través de su realimentación posicionándola a través de su control de actuador. Luego entonces se observa que la malla de control de la válvula distribuidora controla la malla de la válvula proporcional.

Es propiamente del esquema, que siempre, entre un bloque de control y otro, que existe la opción de seleccionar un comando directo del diagrama. Este es utilizado en cada etapa de ajuste de la dinámica del controlador. La salida de control es la que hace la conversión de control en tensión para comandar la válvula proporcional y consecuentemente pilotar la válvula distribuidora y el activador.

g. Ajuste de la malla de control de activación

Los parámetros de control de la malla son los siguientes:

Parámetro	Descripción
-----------	-------------

Kp.	Ganancia proporcional de la malla
Ki.	Ganancia integral de la malla
Ls.	Límite superior del integrador
Li.	Límite inferior del integrador
Adelanto/Retroceso	Compatible a una ganancia Derivativa en la Realimentación (kd)
Lim máx.	Limitador de máxima salida
Lim mín.	Limitador de mínima salida
AZM	Parámetro de Zona muerta

Tabla 24. Parametros de Ajuste de malla de control de activación

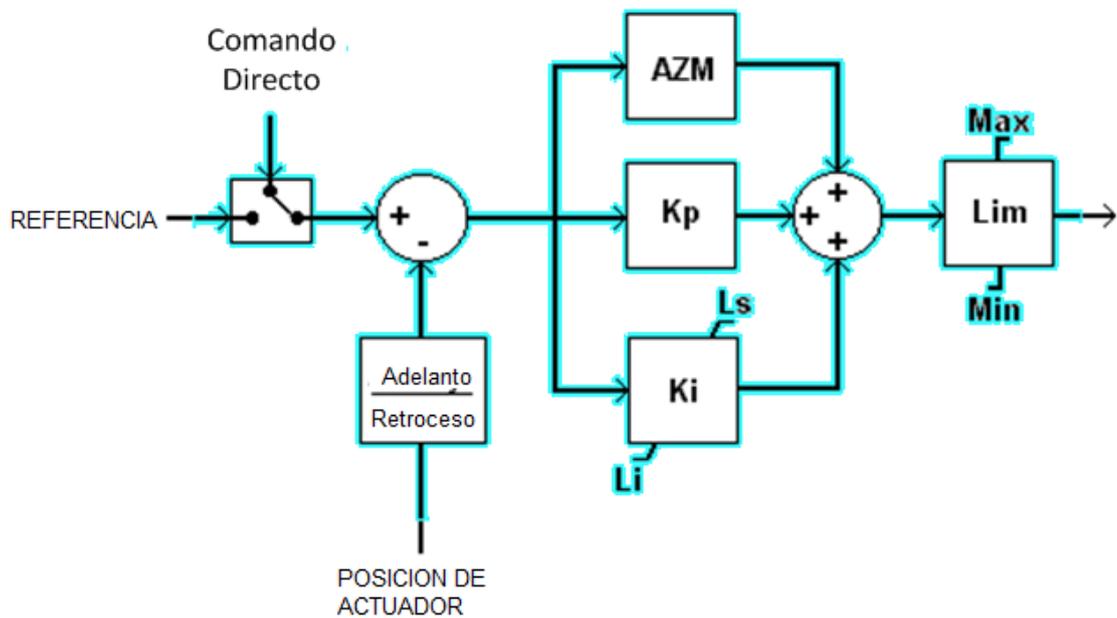


Figura 50. Parámetros de la Malla de Control del Activador (manual pruebas y puesta servicio REIVAX)

Como proceder:

1. Llevar a cero la ganancia integral K_i . Cuando la ganancia Integral está en el valor cero los límites de la integración están sin función, no siendo necesario modificar los valores. Se recomienda que los valores en L_s y L_i , tendrán valores 1 y $-1 pu$ en etapas más adelante.
2. No es muy usual que él K_d este en realimentación. Para eso se ajusta el valor del avance igual al valor del atraso, en el caso de K_d , debe llevarse a cero.
3. Mantener los limitadores de salida de la malla en los valores máximos de $Lim\ máx. = 1$ y $Lim\ mín. = -1 pu$
4. Habilitar el Comando Directo referido al diagrama general de control.

5. Comandar el activador para un área de actuación en que el mismo tenga una respuesta lineal, por ejemplo en torno de $0,5pu$. Al comandar el activador por el comando directo para verificar la dinámica del diagrama de control, se debe tomar en cuenta la máxima apertura o máximo cierre del activador, pues estos datos acaban siendo limitantes para el proceso de ajuste, siendo así, se procura dar comandos de escalón en amplitud que no alcance estos valores limitantes, en torno de $0,1pu$ de movimiento.
6. Verificar la respuesta del activador, apenas con la ganancia proporcional, si posee mucho sobrepaso. Disminuya la ganancia proporcional Kp hasta que el mismo no presente sobrepaso, y el error en régimen quede acentuado.
7. Comenzará aumentar la ganancia Ki de forma que corrija el error en régimen sin causar sobrepaso.
8. Ajustada la Ganancia Ki , ajustar los valores de los Límites de integración Ls y Li , verificando que la respuesta del controlador no se modifique. Procure mantener la simetría entre estos parámetros, manteniendo los valores iguales para Ls y Li .
9. Ajustar el valor de AZM , solamente en el caso de que no haya linealidades que lleve a la malla de control a ciclos límites, esto es, si se puede observar una oscilación de baja amplitud y baja frecuencia
10. Después de las diversas interacciones para el ajuste, se obtendrá los registros de funcionamiento, a través de un sistema de adquisición. Registrando la dinámica de la malla de control a través del escalón de $\pm 0,4pu$, $\pm 0,2pu$ y $\pm 0,8pu$, en la posición de la válvula, con las señales de la(s) válvula(s) y salida de control ya debidamente convertidas a pu .

h. Partida y parada en agua muerta

Con los diagramas de control del activador electro-hidráulico calibrados, es necesario confirmar que los permisibles de Partida y Parada de la turbina, estén en perfecto funcionamiento y bien ajustados mecánicamente. Estos elementos son Traba del Activador Principal, Freno mecánico, Válvula de Bloqueo, Compuerta de la Toma de agua, Compuerta de Emergencia.

- **Traba del activador (distribuidor):** La traba del activador (distribuidor) normalmente será empleada cuando el conjunto Turbina – Generador esté en reposo o parada la unidad, entonces la traba es insertada bloqueando el movimiento del activador principal. En algunos casos forzar la apertura del distribuidor con la traba insertada puede comprometer el alineamiento del anillo del activador (distribuidor) o el mismo puede quebrar la traba. La Traba está insertada en la lógica de Partida/Parada y es comandada por el PCL.
- **Freno mecánico:** Tal como una traba, el freno es otro periférico de la Turbina – Generador que actuará durante la parada de la máquina, normalmente en bajas velocidades. Es fundamental, para garantizar la parada del Conjunto Turbina – Generador.

4.2.2. PRUEBAS DINAMICAS EN VACIO

La etapa de ensayos a vacío, tiene como objetivo ajustar el Regulador de Velocidad para la partida automática de la turbina y su operación en rotación nominal a vacío, dejando el conjunto apto para el sincronismo.

Los ensayos en vacío comprenden el giro mecánico de la máquina, la partida gradual, la partida y parada automática, el bloqueo del Regulador de Velocidad, los ajustes del diagrama de control de la frecuencia y la parada del grupo.

a. Giro mecánico

El Giro mecánico consistirá en abrir levemente el activador (distribuidor), por ejemplo, aproximadamente 5%, durante un pequeño intervalo de tiempo, de 5 segundos, de manera que la turbina gire en baja velocidad. Este procedimiento sirve para verificar si hay obstrucciones al movimiento de giro de la turbina.

El ensayo consiste en abrir el activador (distribuidor) a través del comando directo del distribuidor, y la ejecución de la lógica de valores permitidos de partida,

comandado la parada de la turbina, estableciendo una apertura del Activador Principal.

b. Partida Gradual

En este ensayo se efectuará la elevación gradual de la velocidad de giro de la turbina a través del comando directo del limitador de apertura. Normalmente se inicia el ensayo elevando la rotación para 25%, 50%, 75% y, finalmente, rotación nominal, permaneciendo la turbina en cada velocidad aproximadamente 10 minutos. La curva de calentamiento de los cojinetes es verificada en cada nivel de velocidad. La prueba sólo prosigue cuando se alcance la estabilización de la temperatura de los cojinetes.

c. Medición de la velocidad/frecuencia (PICK UP y TP)

A medida que el ensayo de Partida Limitada va transcurriendo, es necesario que se verifique la medición de frecuencia, debido a que el próximo ensayo, que es el de Partida automática, va a necesitar de la precisión de la medición de frecuencia para el control de velocidad. La medición de velocidad es realizada por 2 tipos de sensores:

- **A través del TP:** Transformador de potencia que está conectado a la salida de una de las fases del generador. La señal en el panel del Regulador, es condicionada para obtener una onda cuadrada que es medida por la unidad de procesamiento y transformada en velocidad. En el generador, aun no excitado a la tensión remanente, normalmente unos pocos volts, permite la medición de velocidad.
- **El sensor de Pickup:** Mide la velocidad a través de una rueda dentada que aproxima y se aleja del sensor, haciendo que el mismo genere una onda cuadrada que es medida por la unidad de procesamiento.

d. Partida automática

El ensayo de Partida Automática es la confirmación de una buena parametrización del Regulador de Velocidad, y el inicio de los ensayos dinámicos para ajustes del diagrama de control de velocidad. Básicamente, este ensayo propone obtener rapidez en la partida, poco sobrepaso (controlador), ausencia de oscilaciones y ningún error en el régimen de control de velocidad.

e. Ajuste diagrama de control de velocidad.

El diagrama de control de velocidad adoptado puede ser descrito de una forma simplificada en un control PID. Las diferencias básicas en relación al PID clásico son las siguientes:

- El PID, es compuesto por la cascada de un control PI con un Derivativo;
- El Derivativo (Tn), procesa apenas la variable de desvío de frecuencia.
- El PI, es sintetizado por un bloque de acción derivativa (Bt, Td) en la realimentación, lo que es semejante a un PI (cuya salida es punto de ajuste para el servo-motor)

Para obtener un buen control de velocidad es necesario básicamente:

- Ajustar el controlador del activador (servo-motor) para obtener una buena característica estática (rastreamiento), con una buena respuesta dinámica, tanto para escalones positivos, cuanto escalones negativos, en toda la gama operativa. Esto se obtiene ajustando adecuadamente los diagramas de control de la válvula proporcional distribuidora y del propio servo, en esa secuencia.
- Ajustar los parámetros Tn, Bt y Td , para el caso de máxima carga en operación aislada. En la mayor parte de los casos no es factible en Puestas en Servicios, por tanto se ajusta los parámetros Tw (reacción de la columna de agua en el conducto forzado) y $2H$ (constante de inercia de la máquina, incluyendo generador y turbina) para precalibrar Tn, Bt y Td .

$$Tn = 0.5 Tw; \quad Bt = \frac{1,25 Tw}{2H}; \quad Td = 3Tw$$

En el caso de no utilizar acción derivativa, los parámetros quedan de la siguiente forma:

$$Bt = \frac{2.5Tw}{2H}; \quad Td = 6Tw$$

El cálculo de Tw y $2H$ a través de los siguientes parámetros:

$$Tw = \frac{Q_0 SL}{H_0 g \sum A}; \quad 2H = \frac{5.48 * 10^{-9} * J * 2(RPM)}{MVA}$$

Dónde:

- **Qo:** Caudal en $\left(\frac{m^3}{seg}\right)$
- **Ho:** Caída en (m)
- $\sum L / \sum A$: Sumatorio de las longitudes por sus áreas transversales, individualmente calculados. Para el caso de diferentes secciones calcular cada relación y después sumar.
- **g:** Constante de aceleración de gravedad. $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$
- **J:** Inercia Total del Conjunto $(Kg * m^3)$
- **RPM:** Velocidad de la Turbina
- **MVA:** Potencia Total en Mega Voltios-Amperios

Parámetros de esta orden de grandeza generan buenos controles, desde que hay poco atraso en la parte hidráulica y Tw y $2H$ se encuentren en condiciones “normales”. La Figura 51 presenta el diagrama de bloques básico del controlador de velocidad.

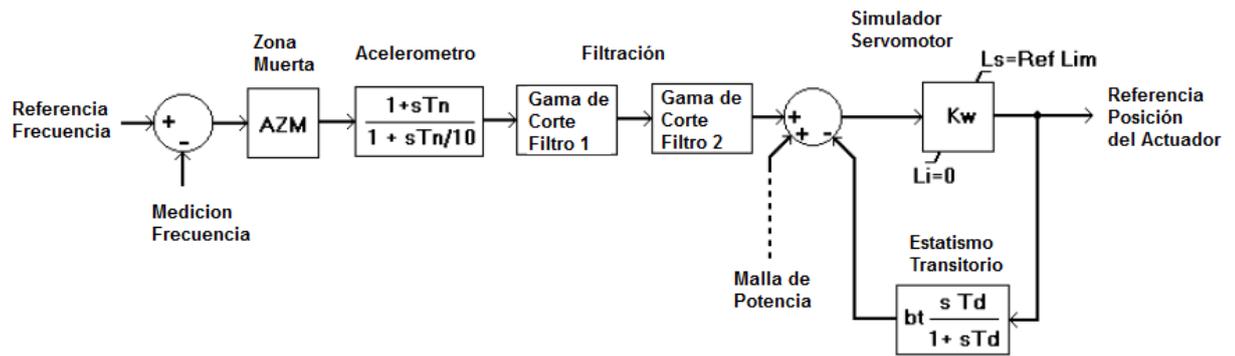


Figura 51. Malla de control de velocidad

Los valores típicos de las gamas de corte son los siguientes:

Parámetro	Gama de valores	Típico	Observación.
T_n	0 a 1.0	0.00	Constante acelerométrica
Gama de corte Filtro 1	10-120Hz	60Hz	Gama de corte de filtro en Hertz de la frecuencia señalada
Gama de corte Filtro 2	30-150Hz	120Hz	Gama de corte de filtro en Hertz de la frecuencia señalada
Bt	0.1 a 1.0	Gama	Estatismo transitorio, Constante de amortiguamiento
T_d	6.0 a 10.0	Gama	Estatismo transitorio
K_w	10 a 50	20	Ganancia de la malla de Control de Velocidad y Potencia

Tabla 25. Parámetros típicos para el control de velocidad

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *Manual de pruebas y puesta en servicio*

La dinámica del controlador de velocidad puede ser observada a través de la respuesta a un escalón en la referencia de velocidad, así, la respuesta del sistema con el menor sobrepaso y sin generar oscilación. Como recomendación se usará un escalón de aproximadamente 5% (0,05 pu), para analizar la dinámica de la retomada de la frecuencia. Antes de ajustar la dinámica a través de la respuesta a un escalón, el control de velocidad debe ser ajustado para que no tenga oscilación en régimen.

f. Ajuste de dispositivo sobre velocidad mecánico

El ensayo de ajuste del dispositivo de sobre-velocidad mecánico consistirá, en elevar la rotación de la turbina hasta el nivel ajustado en las protecciones contra sobre-velocidad, para comprobar sus actuaciones. Todo conjunto Turbina - Generador, posee una resistencia a sobre-velocidad por un determinado tiempo, normalmente pequeño, del orden de segundos. La prueba se puede realizar con el sistema des-excitado. Este ensayo, por ser dañino a la turbina y al generador debe ser realizado con rapidez, sin someter los equipos a esfuerzos innecesarios.

g. Ensayo de estabilidad en Régimen de Regulación a vacío.

El ensayo que verificará la estabilidad en régimen de regulación simplemente basta colocar el conjunto Turbina-Generador girando y registrar su comportamiento en régimen. Observe la estabilidad de los activadores y frecuencia, sin presentar oscilación.

4.2.3. PRUEBAS CON CARGA

a. Ajuste de Transducción de potencia

Por lo general, cuando la transducción de potencia activa es efectuada vía software, se hace necesario su ajuste a través de los valores transducidos (aplicados) de tensión y corriente terminales, los cuales, a través del algoritmo interno al modelo aplicado, calcula los valores de potencia activa.

El componente de tensión terminal es transducido cuando la máquina es excitada al vacío, siendo necesario en esta etapa en carga, ajustar los valores de corriente terminal. Para ello, considerase el valor base, aquel correspondiente al dato de placa del generador en unidad de *MVA*. De esta forma, la lectura en *pu* de potencia activa tendrá la misma base en *MVA*.

Es usual ajustar los valores de *Ia* *Ic* en el punto de operación de la máquina con potencia reactiva nula y manteniendo la potencia activa en 50% de la potencia

aparente (valor base). En esta forma, con la señal de tensión terminal en fase con el de corriente terminal, el ajuste se dará solamente por la amplitud de las señales de corriente estatórica y no por el desfase, ajustando la transducción para que se lea $0,5pu$ de potencia activa. El desfase entre tensión y corriente terminal es utilizado por el algoritmo interno al modelo aplicativo para cálculo de la potencia, por eso, la necesidad de verificar la secuencia de fase.

b. Ajuste de la dinámica de la malla de potencia.

Un Regulador de Velocidad/Potencia deberá ser capaz de ejecutar tareas tales como:

- Mantener la frecuencia de la máquina en el valor definido por el operador, o mantener una determinada relación entre frecuencia y potencia activa (estabilización) en toda la región de operación.
- Mantener la velocidad dentro de los límites aceptables de trabajo lo mismo en rechazos de plena carga u otros disturbios severos en el sistema de potencia.
- Ser capaz de propiciar una partida rápida y sin sobre-elevaciones en la rotación.
- Ser capaz de responder, con desempeño adecuado, a los comandos del operador o sincronizador automático cuando ocurra la sincronización de la unidad con el sistema.
- Proveer o tener de razonable velocidad de respuesta de manera de corregir las variaciones de frecuencia impuestas por variación de carga, generación o por atascamiento.
- Ser capaz de tomar carga de manera lineal y rápida de acuerdo con los comandos del operador, y el controlador conjunto o control de carga y frecuencia, sin que para esto sea necesario degradar la regulación del control de velocidad.
- Ser capaz de limitar dinámicamente la máxima apertura del distribuidor, independientemente de la eventual necesidad de aumento de potencia mecánica que el controlador de velocidad imponga.
- Ser capaz de conjugar la aguja y el deflector de manera que el deflector sea inserido en el menor tiempo posible durante rechazos de carga en turbinas del tipo Pelton.

Estas funciones, son las más importantes, mas existen otras funciones con las cuales el Regulador de Velocidad/Potencia debe ser dotado, como protección, alarma y señalización. Para efectuar todas las funciones, el regulador es compuesto por los diversos diagramas de control ajustadas anteriormente, tales como, controlador de la válvula, controlador del posicionado del activador, diagrama de control de velocidad, limitador de apertura, y rampa de potencia.

De manera similar el diagrama de control de velocidad, los parámetros de control se refieren al estatismo transitorio. La diferencia es que en condición de carga, los parámetros del estatismo transitorio actúan en el sentido de disminuir el efecto del estatismo permanente (normalizado en 5%) durante las perturbaciones. Esto es realizado principalmente a través de los parámetros: Bt carga, Td carga y Tn carga. Las gamas de valores típicos para el diagrama de control de velocidad se encuentran abajo:

Parámetro	Gama de valores	Típico	Observación.
Bt carga	0.1 a 0.8	Gama	Estatismo transitorio, constante de amortiguación
Td carga	6.0 a 10.0	Gama	Estatismo transitorio
Kw	10 a 30	20	Ganancia del diagrama de Control de Velocidad y Potencia, puede ser reajustado para atender el controlador de potencia
Ep	0 a 0.05	0.05	Estatismo permanente
Kr			

Tabla 26. Valores para el control de velocidad en Estatismo Transitorio

Fuente: DAUX, R. J. (2008). *Manual de pruebas y puesta en servicio*

La dinámica del controlador de potencia, tal cual el controlador de velocidad debe ser observada a través de la respuesta a un escalón en la referencia de potencia, se observa así la respuesta del sistema con el menor sobrepaso y sin generar oscilación.

La recomendación es aplicar un escalón de aproximadamente 3% ($0,03pu$), para analizar la dinámica del escalonamiento de potencia. Antes de ajustar la dinámica a

través de la respuesta a un escalón, es importante observar si existe oscilación de potencia en régimen.

c. Máquina en régimen de estabilidad con Carga

El Ensayo que verifica la estabilidad en régimen de regulación es simple, basta colocar el conjunto Turbina- Generador en carga y registrar su comportamiento en régimen. Observar en este ensayo, la búsqueda de la estabilidad y que los activadores y frecuencia no deben estar oscilando, deben estar estables.

d. Ensayos de rechazo con carga

Los ensayos de rechazo de carga permiten evaluar el comportamiento del Regulador de Velocidad a una retirada brusca de carga. Esos ensayos se realizan progresivamente a 25, 50, 75 y 100% de rechazo.

4.3. VERIFICACION Y RESULTADOS.

El ajuste de los reguladores como se menciona al inicio del capítulo lo desarrollamos en 2 etapas, como en las pruebas tanto a vacío como en carga, en primer lugar se procede al ajuste del regulador del posicionador (servomotor), para luego proceder al ajuste de los reguladores de velocidad y el regulador en carga-velocidad. Para el regulador de carga velocidad su funcionamiento se ajusta en sistema interconectado.

4.3.1. AJUSTE DE REGULADOR DEL POSICIONADOR

El modelo del controlador de regulación del posicionador (servomotor) se muestra en la figura 52, y por medio del programa en MATLAB SIMULINK ®. En el modelo incluye las válvulas principales y los servomotores de las agujas y deflectores. La válvula piloto y la válvula principal se representan por sistemas de primer orden cuyas constantes como vimos en las pruebas a vacío son respectivamente 0,5 y 0,2.

El servomotor lo tomaremos como un modelo de con PI con ganancia de 40 en condiciones nominales o típicas respectivamente.

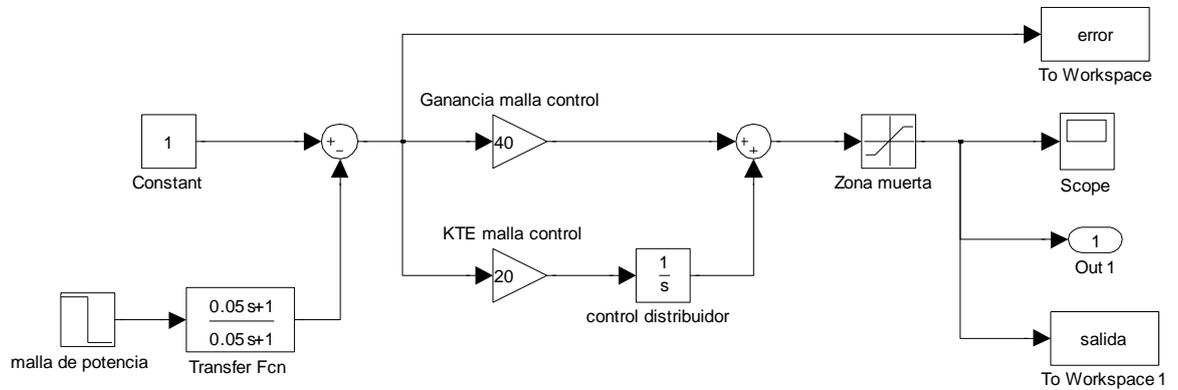


Figura 52. Malla de control de la posición del actuador.

Dependiendo de la posición del actuador dependerá la respuesta al escalón para el adelanto o el retroceso de la válvula de distribución.

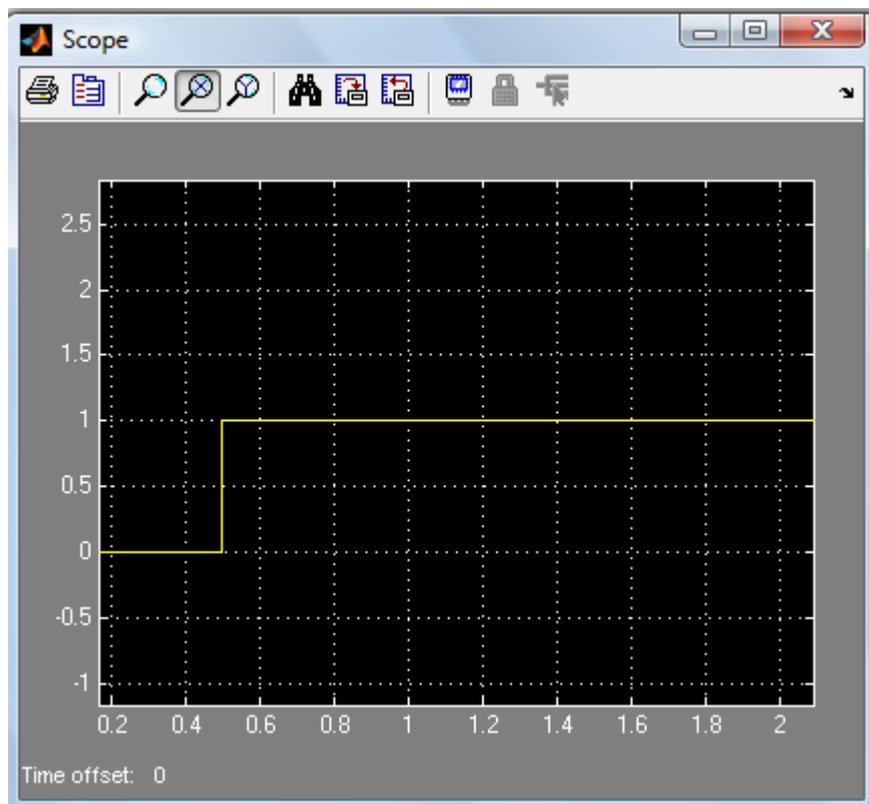


Figura 53. Respuesta al escalón del actuador en adelanto o activación a su máxima capacidad.

4.3.2. AJUSTE DE REGULADOR DE VELOCIDAD.

La figura 54 muestra el modelo del controlador de la regulación de velocidad en vacío. La constante de tiempo de la conducción forzada en tubería es 1,5 segundos; el caudal en vacío es $0,05pu$; el factor de pérdidas $0,05pu$; la ganancia de la turbina es $1,2pu$ y el amortiguamiento de la misma $0,5pu$. La constante de inercia de 2 segundos y el amortiguador de $0,5pu$. El regulador de velocidad es del tipo PI, por tanto se determina los parámetros de K_p y K_I .

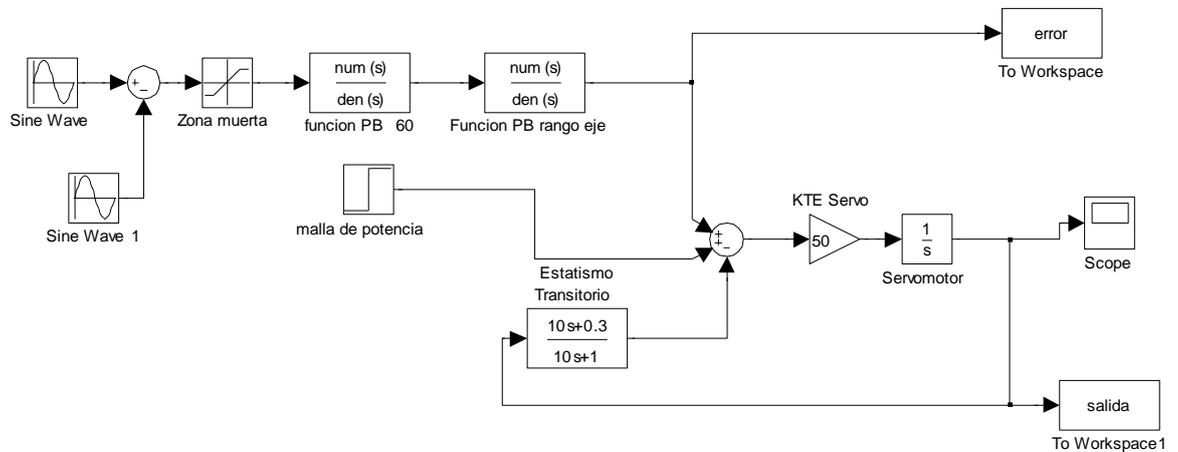


Figura 54. Malla de control para control de regulación de velocidad.

La figura 55 compara la respuesta obtenida con el regulador PI diseñado con un escalón del 0,5 del valor de frecuencia. Compensando el valor a medida que funciona a vacío este tiende a un valor más alto de la constante del servomotor produciendo un efecto de sobrepaso electrónico por lo cual este se compensa con la carga produciendo la estabilización del sistema. La respuesta deseada corresponde a un sistema de segundo orden cuyo amortiguamiento es el 80% y la frecuencia natural es $0,1Hz$.

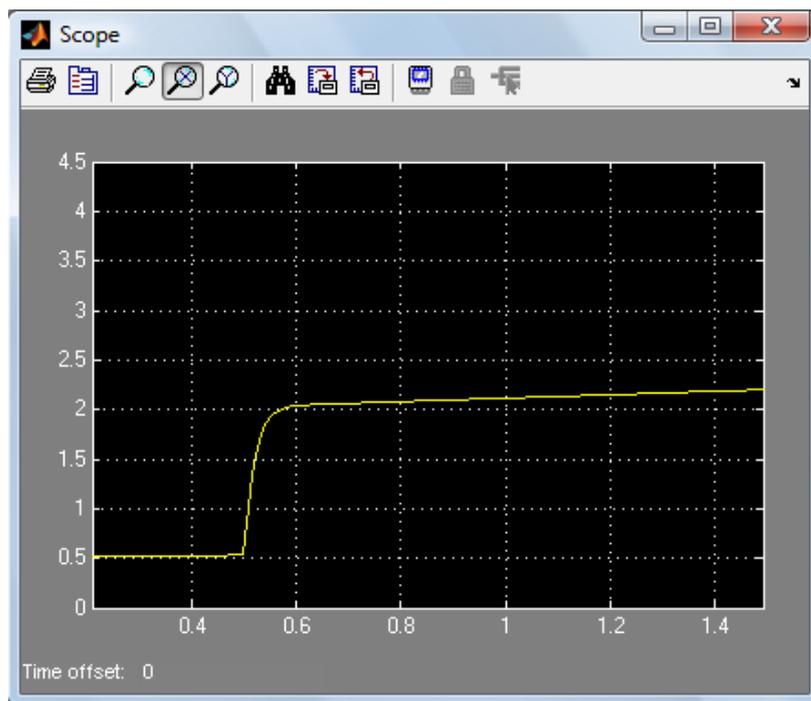


Figura 55. Respuesta obtenida de la variación de velocidad obtenida en el servomotor en vacío.

4.3.3. AJUSTE DE REGULADOR CARGA-VELOCIDAD

En la figura 56, podemos observar el diagrama de control de regulación carga-velocidad. Analizaremos con carga plena y el generador al sistema interconectado, cuando el generador esta acoplado a un sistema interconectado la frecuencia es constante. El regulador carga-velocidad es también PI.

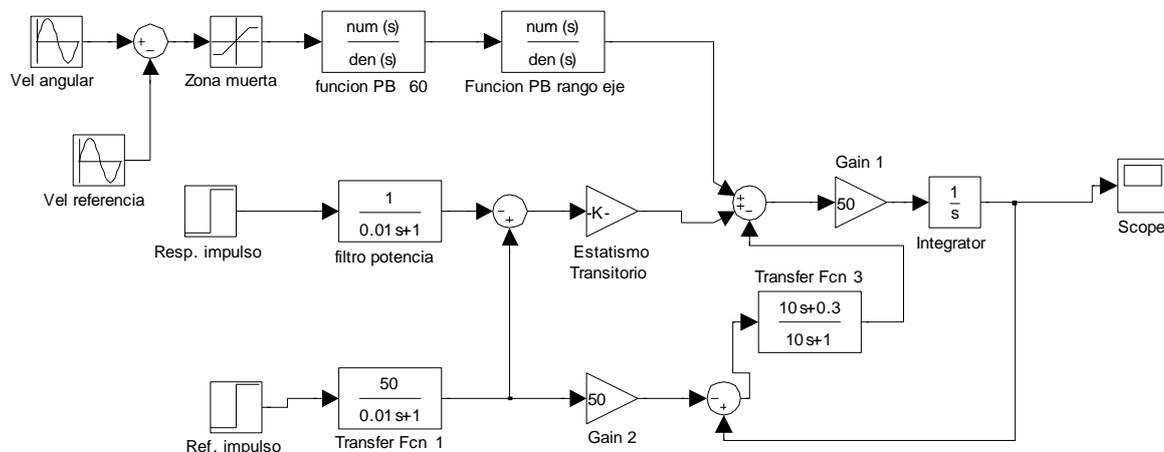


Figura 56. Malla de control carga-velocidad acoplado al sistema interconectado

Para el cálculo de la velocidad angular se tomó la frecuencia de manera constante y el tiempo de arranque a 1,5 segundos asumiendo la constante de pruebas de inercia del generador, tomando los datos del capítulo 3 del controlador con carga se pudo diseñar mediante SIMULINK el controlador de la figura 56, diseñando ante un escalón de 5% de la carga, podemos observar la respuesta al escalón del sistema La respuesta deseada corresponde a un sistema de segundo orden cuyo amortiguamiento es del 70% y cuya frecuencia natural es de 0,1 Hz.

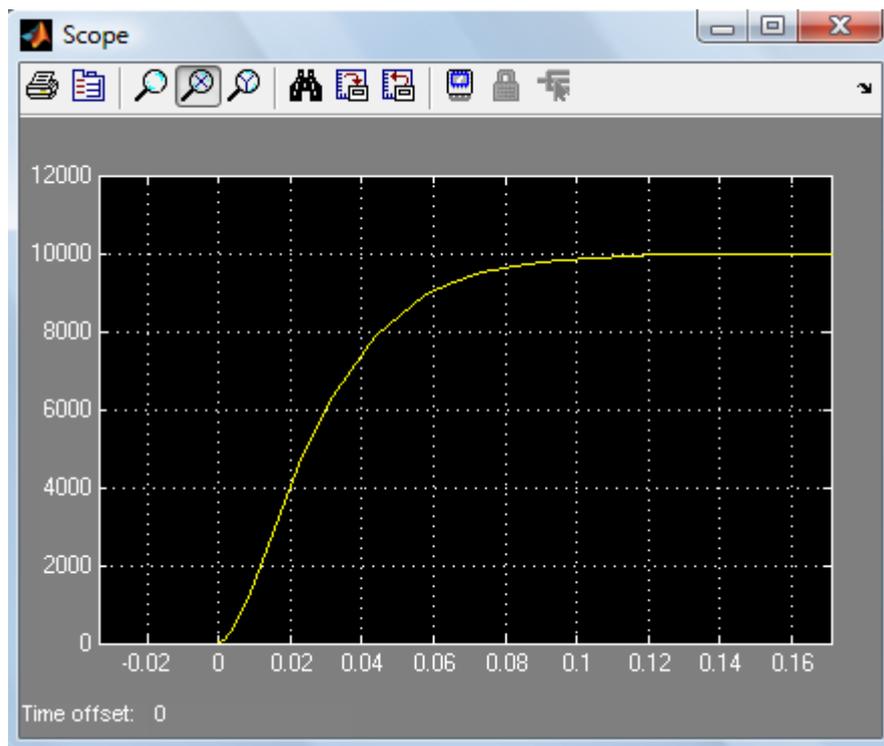


Figura 57. Respuesta al Escalón para la malla de control carga-velocidad al sistema interconectado.

4.3.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL NUEVO REGULADOR RESPECTO AL REGULADOR FD 50 DEL GRUPO 2

Respecto al generador del grupo 2 el nuevo regulador digital tiene muchas ventajas entre las cuales destacan:

- No requiere transductor de posición interno, su funcionamiento es auto regulado.
- Corto tiempo de puesta en marcha por su ajuste de laboratorio inmediata. Automatizado y probado con régimen de confiabilidad en un 90%

- En sitio, solamente requiere ajuste mecánico de cero, facilidad y simplificación en mantenimiento, a su vez, posibilidad de “limpieza y flujo” en marcha
- Bajos costos de mantenimiento y operación
- Control mejorado en precisión y estabilidad aplicada.

A nivel hidráulico podemos obtener:

- Mayor presión y nivel de filtración de aceite, mayor Presurización del mismo
- Nuevos servomotores, con inclusión de válvula de sobrevelocidad
- Nuevo acumulador, el regulador mecánico no lo tenía y por medio del acumulador se mantiene constante bajo presión en la cámara de aire cierta cantidad de aceite.
- Nueva unidad de bombeo.
- Nuevas válvulas.

Como se menciona, las ventajas del regulador electrónico son muchas respecto al mecánico, sin embargo también cabe resaltar algunas de las principales desventajas entre las cuales tenemos las siguientes:

- No existe un régimen intermedio de operación, es decir la precisión de estabilidad es de un 70%.
- Las modificaciones de Software solamente se puede realizar el fabricante, por tanto el operador debe regirse al programa propio del regulador
- Debido a los constantes avances de reguladores en el mercado, a medida que actualice modelos, el stock de tarjetas electrónicas se limita.
- Pese a ser automatizada toda la unidad, se necesitará siempre un operador que supervise, ya que cada uno de estos equipos nos son perfectos y pueden fallar en algún momento.

4.4. PRESUPUESTOS REFERENCIALES

A manera general, tenemos un costo general para la automatización de la central. Para esto se analizó y se obtuvo un procedimiento de cambios que ponemos a continuación:

4.4.1. REHABILITACIÓN COMPLETA

a. Electrónica

- Modulo de control touch panel
- Controlador digital (hardware)
- Programa de Regulador para turbina de chorro libre (software)

b. Unidad hidráulica

- Sistema de aceite a presión existente.
- Nuevos servomotores.
- Nueva válvula distribuidora.
- Nuevo anillo de dientes y sensores.
- Nuevo actuador o válvula proporcional.
- Nueva instrumentación y tanque acumulador.
- Nueva medición de velocidad con señal de tensión.
- Nuevo sensor de posición Servomotor.

4.4.2. PRESUPUESTO REFERENCIAL

Gracias a la cortesía de empresas como ANDRITZ, REIVAX y TURBMOTORES DEL ECUADOR tenemos un presupuesto aproximado del costo de los equipos para una rehabilitación completa de regulador de velocidad grupo 2 aplicado a la central Carlos Mora Carrión.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
1	Regulador Electrónico de Velocidad y partes componentes.	1	\$ 36,087.05	\$ 36,087.05
2	Válvula Distribuidora Principal, accesorios y partes componentes.	1	\$ 94,781.40	\$ 94,781.40
3	Bomba de engranaje y	1	\$ 5,709.00	\$ 5,709.00

	accesorios Complementarios			
4	Cámara de aire-aceite, accesorios y partes componentes.	1	\$ 8,741.00	\$ 8,741.00
5	Control - Mando Hidráulico y accesorios para instalación.	1	\$16,193.72	\$16,193.72
6	Dispositivos de control de Velocidad	2	\$ 1,900.00	\$ 3,800.00
7	Dispositivo de protección mecánica para sobre velocidad de la turbina	1	\$ 20,986.56	\$ 20,986.56
8	Pruebas en sitio	1	\$ 14,000.00	\$ 14,000.00
9	Supervisora de Montaje	1	\$ 28,000.00	\$ 28,000.00
10	Capacitación	1	\$ 22,000.00	\$ 22,000.00
11	Lote de repuestos recomendados	1	\$ 13,000.00	\$ 13,000.00
TOTAL SIN IVA				\$ 263298,73

Tabla 26. Presupuestos Referenciales generales

Fuente: Turbomotores Ecuatorianos 2011

4.4.3. PRESUPUESTOS COMPARATIVOS ENTRE EL REGULADORES ELECTRONICOS DE LA MARCA VATECH Y REIVAX.

Antes de mostrar un cuadro comparativo, se ha tomado los modelos que cumplen con las normas y especificaciones mostradas en el Capítulo 3 y 4, siendo la única diferencia su precio y lugar de fabricación, ya que ANDRITZ es una empresa Austriaca con Fabricación de reguladores en Brasil, sin embargo REIVAX es una empresa de EEUU con fabricación Argentina y Brasileña, por lo general en la mayoría de sistemas se cuenta con este tipo de reguladores, entre ellas, San Francisco, Los Chillos, Mazar. A continuación se muestra un cuadro comparativo de costos.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR ANDRITZ USD	VALOR REIVAX USD
1	Regulador Electrónico de Velocidad y partes componentes.	1	\$ 36,283.10	\$ 36,087.05

2	Válvula Distribuidora Principal, accesorios y partes componentes.	1	\$ 96,456.10	\$ 94,781.40
3	Bomba de engranaje y accesorios complementarios	1	\$ 5,500.00	\$ 5,709.00
4	Cámara de aire-aceite, accesorios y partes componentes.	1	\$ 8,365.00	\$ 8,741.00
5	Control - Mando Hidráulico y accesorios para instalación.	1	\$18,420.70	\$16,193.72
6	Dispositivos de control de velocidad	2	\$ 4,200.00	\$ 3,800.00
7	Dispositivo de protección mecánica para sobre velocidad de la turbina	1	\$ 21,500.00	\$ 20,986.56
8	Pruebas en sitio	1	\$ 13,000.00	\$ 14,000.00
9	Supervisora de Montaje	1	\$ 30,000.00	\$ 28,000.00
10	Capacitación	1	\$ 20,000.00	\$ 22,000.00
11	Lote de repuestos recomendados	1	\$ 18,000.00	\$ 13,000.00
TOTAL SIN IVA			\$ 271724,90	\$ 263298,73

Tabla 27. Presupuestos Comparativos entre los dos reguladores aptos para la Central

Fuente: Turbomotores Ecuatorianos 2011

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1. CONCLUSIONES ACERCA DEL REGULADOR DE VELOCIDAD

El regulador de velocidad es una pieza fundamental para el funcionamiento de los generadores, la misión del mismo es mantener la velocidad de giro constante para permitir la sincronización del generador a la red de interconexión con el sistema. Cuando el regulador está conectado propiamente a la red, tiene la misión de contribuir a la regulación frecuencia-potencia del generador y el sistema eléctrico.

La frecuencia del sistema es inversamente proporcional a la carga, por tanto, si la carga aumenta la frecuencia del sistema disminuirá, al contrario, si la carga disminuye, aumenta la frecuencia del sistema. La inercia de las turbinas, se opone a los cambios de potencia producidos por la carga. Si la constante de inercia, tiende a ser elevada, se tiene desviaciones de frecuencia menores, favoreciendo la estabilidad del sistema.

Se adopta regulación de velocidad doble para las turbinas Pelton cuando se desea una distribución ahorrativa del agua, a su vez de evitar los golpes de ariete, en los procesos de descarga, introduce primero el desviador, mientras que la aguja, se ajusta a una nueva carga, aumentando o disminuyendo el caudal, influenciada por la aguja.

Las constantes de tiempo en el gobernador se ajustaron a valores típicos del sistema, la alteración de estas, modifica considerablemente la respuesta dinámica del sistema, a medida que se incrementan las constantes de tiempo, la respuesta es más oscilatoria.

Los reguladores, por lo general vienen provistos de estabilizadores que reduce a cero los disturbios, y a su vez, obtener elevada elasticidad y control al momento de comenzar la regulación, que se reduce a cero al terminar la regulación. Por lo general requieren de la intervención de un operador debido a que su funcionamiento es netamente mecánico, además, tiene restricciones para el ajuste de las regulaciones de la frecuencia.

5.2. CONCLUSIONES ACERCA REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD.

El Regulador electrónico es una unidad de adquisición, registro y control desarrollado para ejecutar las funciones necesarias para un regulador velocidad en centrales de medio y pequeño porte. La actuación del regulador electrónico de velocidad permite un control mejorado en la precisión y estabilidad del sistema, incremento en la seguridad y simplificación del régimen de operación. El regulador cuenta con un régimen de servomotor en dos pasos para minimizar o anular el golpe de ariete.

La actuación del control del moderno regulador de velocidad se aplica directamente sobre los servomotores de las agujas inyectoras a través de electro-válvulas, El controlador digital del Regulador es tipo PID, cuyas diferencias básicas fueron modificadas como un sistema en cascada de un control PI con un PD, donde el derivativo controla el desvío de la frecuencia y el integrador es un set-point para el servomotor y retroalimentado por otro derivativo.

La calidad del control de velocidad y potencia dependen directamente de la calidad del ajuste de las mallas de control del activador electro-hidráulico y válvulas. Para obtener la mejor respuesta el ajuste de las mallas es efectuado a través de la respuesta al escalón aplicado en sus referencias, a través del comando directo de la malla y verificando su posicionamiento rápido, bajo sobrepaso y el mínimo error en régimen.

La unidad hidráulica tiene la función principal de actuar como un amplificador mecánico de los comandos generados por el regulador de velocidad y controladores auxiliares, suministrando potencia compatible para el accionamiento del servomotor. Además, debe cumplir funciones auxiliares tales como: Acondicionar el aceite de manera apropiada, garantizar la filtración necesaria, suministrar presión suficiente, acumular aceite presurizado, limitar la presión del sistema y señalar condiciones de falla.

5.3. CONCLUSIONES PRUEBAS Y VERIFICACION RESULTADOS.

Cada una de las pruebas permite determinar el funcionamiento y el comportamiento del regulador tanto en velocidad como en frecuencia y potencia, determinando los valores de frecuencia y potencia si aumenta o disminuyen hasta llegar a la estabilización del sistema y el funcionamiento de manera óptima y eficiente.

El ajuste de máxima apertura y cierre de los servos es de fundamental importancia en una Puesta en Servicio, debido a las restricciones impuestas por los componentes de la turbina, tales como, conducto forzado, cámara de carga, caracol, etc. El Ajuste de máxima velocidad de apertura y cierre de los servos-motores es realizado a través de válvulas reguladoras de desagüe en la salida de la Unidad Hidráulica.

En la etapa de ensayos en agua la tubería debe estar totalmente vacía. En toda esta etapa trabaja en malla cerrada para el control de posición de las válvulas y activadores del Sistema de Regulación de Velocidad.

La etapa de ensayos a vacío permite ajustar el Regulador de Velocidad para la partida automática de la turbina y su operación en rotación nominal a vacío, dejando el conjunto apto para el sincronismo. Comprenden el giro mecánico de la máquina, la partida gradual, la partida y parada automática, bloqueo del Regulador de Velocidad, los ajustes de la malla de frecuencia y la parada del grupo.

Para la prueba con carga el sistema ejecuta las tareas de mantener la frecuencia de la máquina en el valor definido, mantener la velocidad dentro de los límites aceptables de trabajo lo mismo en rechazos de plena carga u otros disturbios severos en el sistema de potencia, ser capaz de propiciar una partida rápida y sin sobre-elevaciones en la rotación. A su vez el sistema debe estar provisto de razonable velocidad de respuesta de manera de corregir las variaciones de frecuencia impuestas por variación de carga, generación o por atascamiento.

En pruebas de ajuste de regulador de posición, la posición del actuador dependerá de la respuesta al escalón para el adelanto o el retroceso de la válvula de distribución.

En vacío determina un sobrepaso del valor nominal, por lo que al funcionar con carga el sistema se estabiliza.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

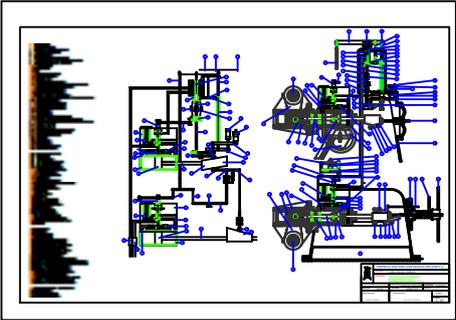
1. *El poder del rio, las represas hidroeléctricas.* (5 de diciembre de 2001). Recuperado el 5 de agosto de 2011, de El poder del rio, las represas hidroeléctricas:
<http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/neuquen/poderdelrio/REPRESAS%20HIDROELECTRICAS.htm>
2. *Infraestructura eléctrica.* (16 de 10 de 2006). Recuperado el 5 de 06 de 2011, de Infraestructura eléctrica:
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=35951158>
3. ANDRITZ, V. H. (2007). *Modernización de reguladores de velocidad.* Bogota: Andritz de Colombia.
4. BENEDETTO, A. D. (s.f.). *Funcionamiento del regulador de velocidad.* Recuperado el 25 de Mayo de 2011, de Funcionamiento del regulador de velocidad:
<http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/reguladordevelocidad.pdf>
5. CARDOSO, R. (2009). *Manual de Operacion y mantenimiento de la central Carlos Mora Carrion.* Loja: Empresa Electrica del Sur S.A.
6. COLOMÉ, D. (s.f.). *Sistemas de regulación de velocidad y control de turbinas.* Recuperado el 18 de Julio de 2011, de Sistemas de regulación de velocidad y control de turbinas:
<http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/32/Regulaci%C3%B3nVelocidad%201.pdf>
7. *Componentes de una turbina francis.* (s.f.). Recuperado el 19 de septiembre de 2011, de Componentes de una turbina francis:
<http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-4.1.htm>

8. DAUX, R. J. (2008). *Manual de pruebas y puesta en servicio*. Sao Paulo: REIVAX Automação e Controle.
9. DAUX, R. J. (2008). *Manual técnico de la unidad hidráulica*. Sao Paulo: REIVAX Automação e Controle.
10. DAUX, R. J. (2008). *RVX energy manual regulador automático de velocidad*. SAO PAULO: REIVAX Automação e Controle.
11. OBANDO, L. D. (Noviembre de 2002). *Diseño de un simulador para el gobernador de una planta hidroeléctrica en lenguaje LabView*. Cartago.
12. ROUCO, L., ZAMORA, J., & GONZALEZ, M. (1999). *Ajuste de reguladores de turbinas hidráulicas con técnicas de estimación de parámetros*. Lisboa.
13. *Tag Server Overview*. (s.f.). Recuperado el 24 de septiembre de 2011, de Tag Server Overview: http://www.scadatec.com/overview_ts.php
14. Tosatado, M. (23 de Septiembre de 2008). *Estaciones y subestaciones transformadoras*. Recuperado el 17 de Octubre de 2011, de Estaciones y subestaciones transformadoras: <http://www.mailxmail.com/curso-estaciones-energia/estaciones-transformador-potencia-sumergido-aceite>
15. VERDUGO, L. (2002). *Análisis y diagnóstico del sistema de excitación y construcción de un prototipo calibrador para el sistema de control del regulador de tensión de la Fase C de la Central Hidroeléctrica Paute*. . Cuenca.
16. VOITH, J. (1961). *Regulador doble FD 50 para turbinas de Chorro Libre*. Brenz: imprenta Voith, Heidenheim.

17. ZOPPETI JUDEZ, G. (1974). *Centrales Eléctricas*. Barcelona: Gustavo Gili.

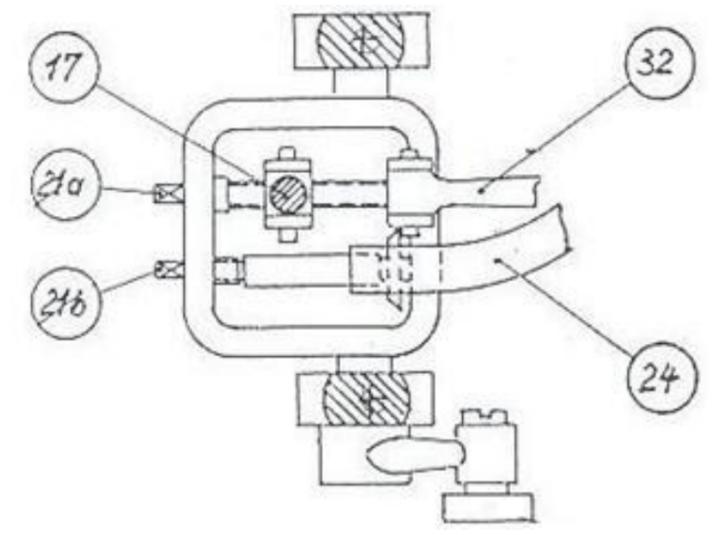
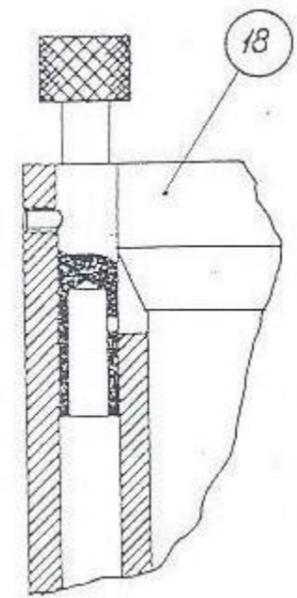
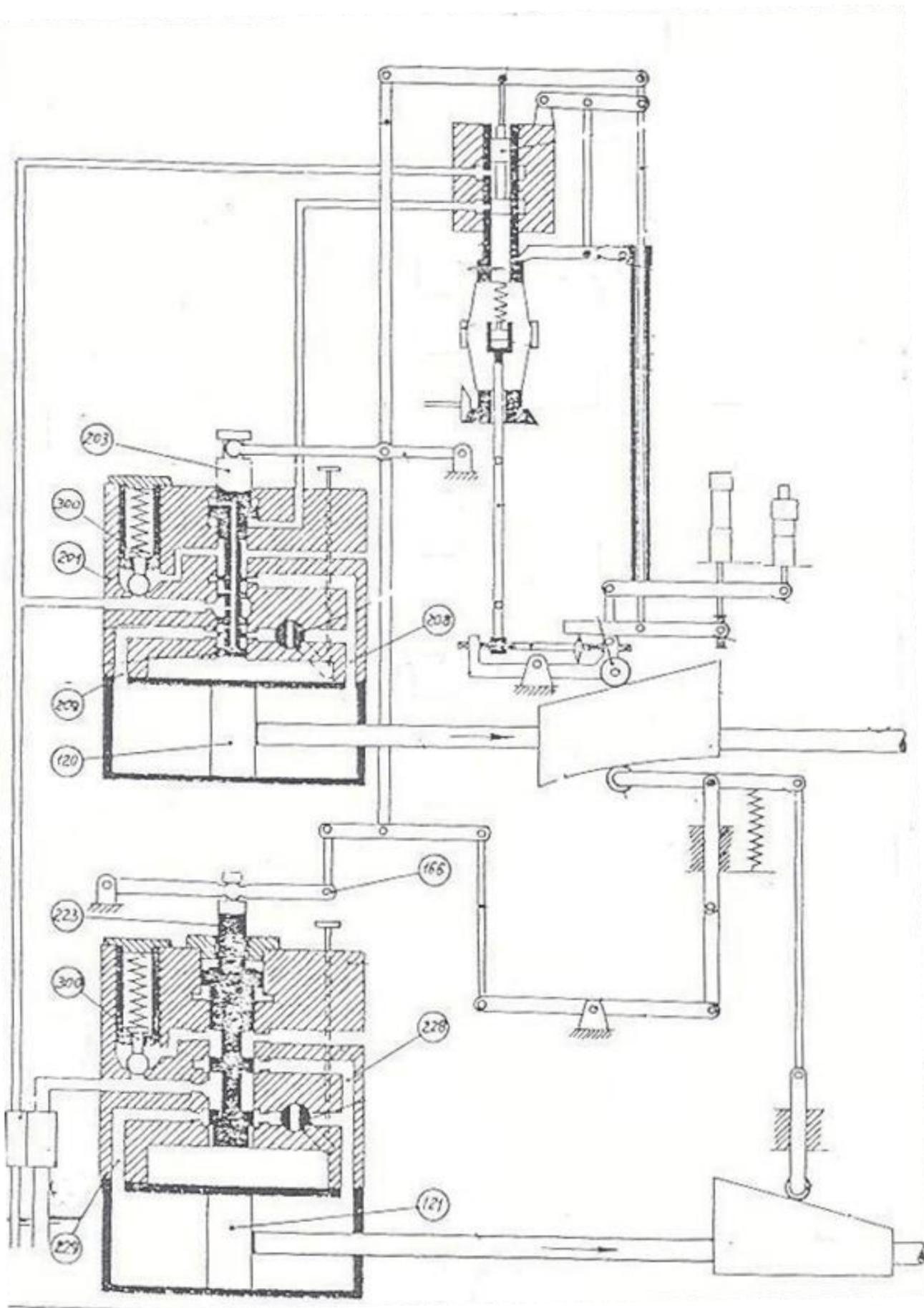
ANEXO 1

DENOMINACION DE ELEMENTOS REGULADOR FD 50 PARA TURBINAS PELTON GRUPOS 1 Y 2



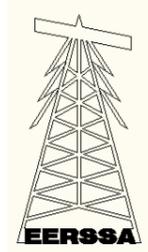
ANEXO 2

FUNCIONAMIENTO VALVULAS Y DESCRIPCION DE SUS PARTES DEL REGULADOR FD 50 PARA TURBINAS DE CHORRO LIBRE



Denominación de los elementos señalados con números

166	palanca gobernadora (válvula del desviador)
201	Caja válvula gobernadora de la aguja
203	Embolo de gobierno válvula gobernadora de aguja
223	Espiga Gobernadora válvula gobernadora del desviador
208	Canal "abrir" válvula gobernadora de aguja
209	Canal "cerrar" válvula gobernadora de aguja
228	Canal "abrir" válvula gobernadora del desviador
229	Canal "cerrar" válvula gobernadora del desviador
120	Embolo servomotor de aguja
121	Embolo servomotor del desviador
17	Vástago para el freno de aceite
18	Cilindro de freno de aceite
21a	Tornillo de ajuste para la estabilidad
21b	Tornillo de ajuste para el grado de permanente de desuniformidad
24	Palanca para el variador de velocidad
32	Palanca para la limitacion de abertura

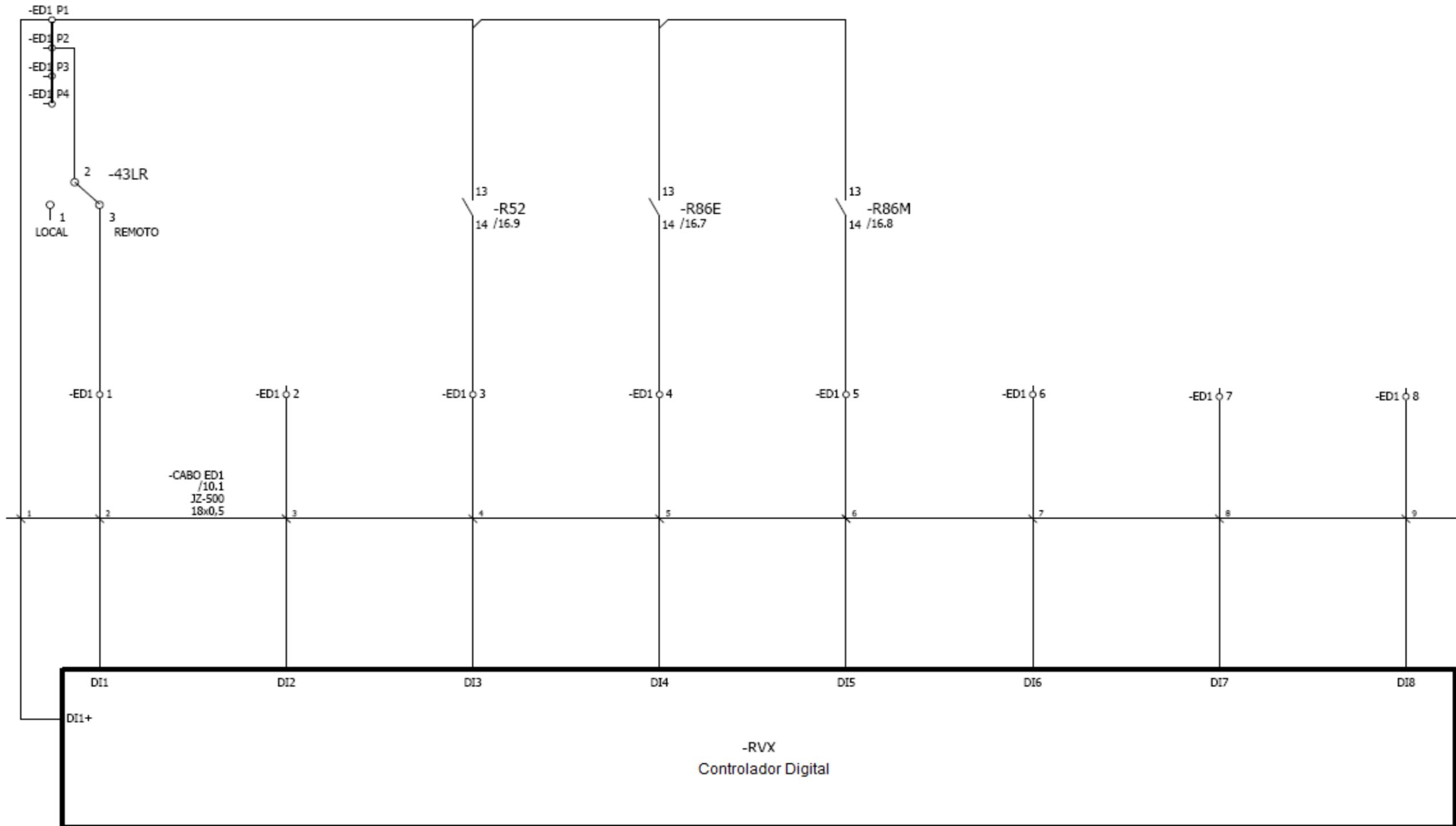


FUNCIONAMIENTO VALVULAS Y DESCRIPCION DE SUS PARTES				
REGULADOR FD 50 PARA TURBINAS DE CHORRO LIBRE				
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.	TAMAÑO	Nº DE FAX	Nº DIBUJO	REV.
	LOJA-ECUADOR	ESCALA	JORGE CARRERA ORELLANA	1 DE 1
	1:10		HOJA	

ANEXO 3

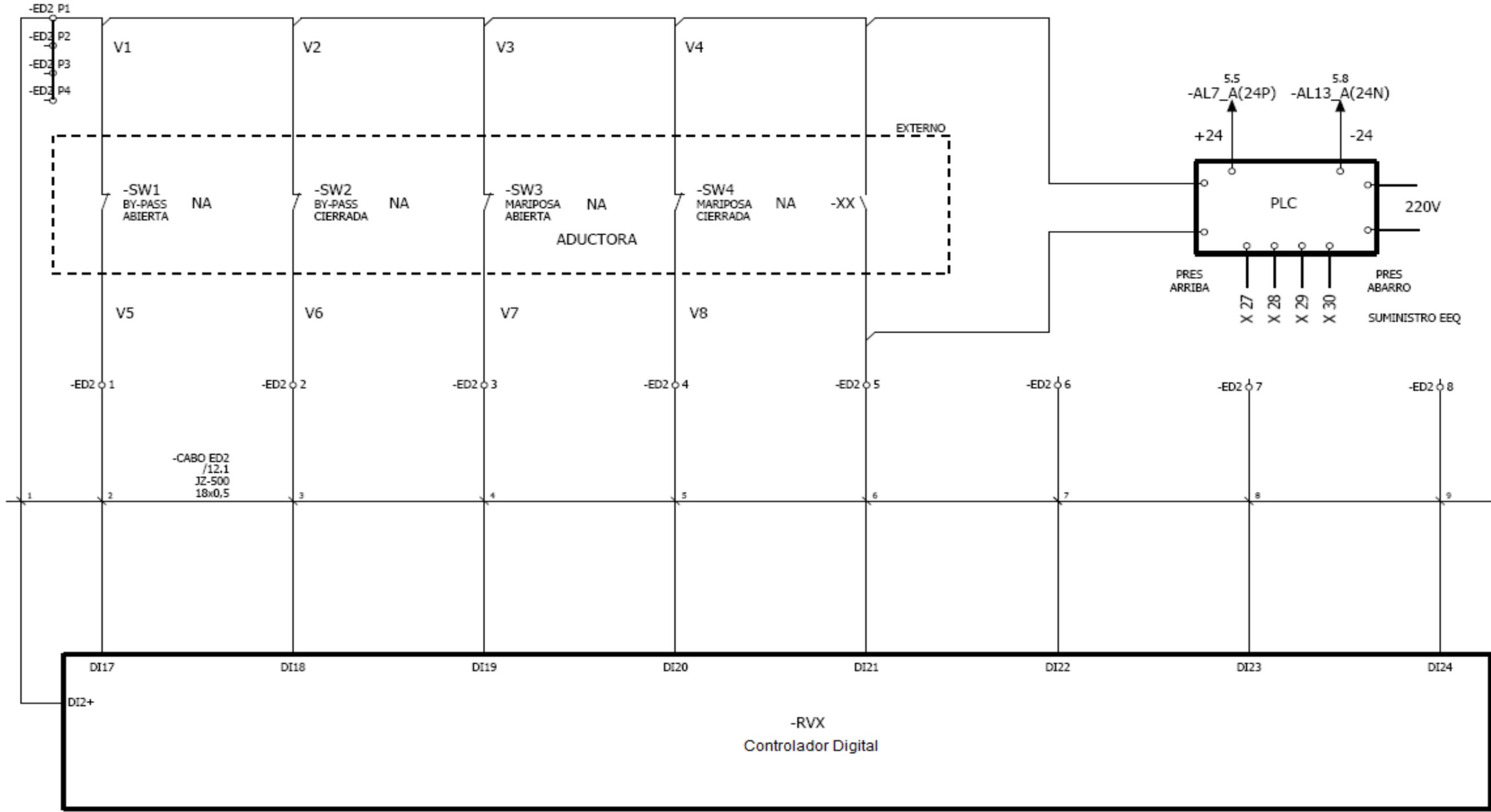
**DIAGRAMAS UNIFILARES PARA LAS SEÑALES
ANALOGICAS Y DIGITALES DEL REGULADOR
ELECTRONICO DE VELOCIDAD CENTRAL CARLOS
MORA CARRION**

ENTRADAS DIGITALES							
SELECCIÓN LOCAL/REMOTO	NO UTILIZADA	ESTADO DEL DISYUNTOR DE GRUPO	BLOQUEIO ELECTRICO (TRIP)	BLOQUEIO MECANICO	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Entradas Digitales Parte 1	
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	1 DE 11

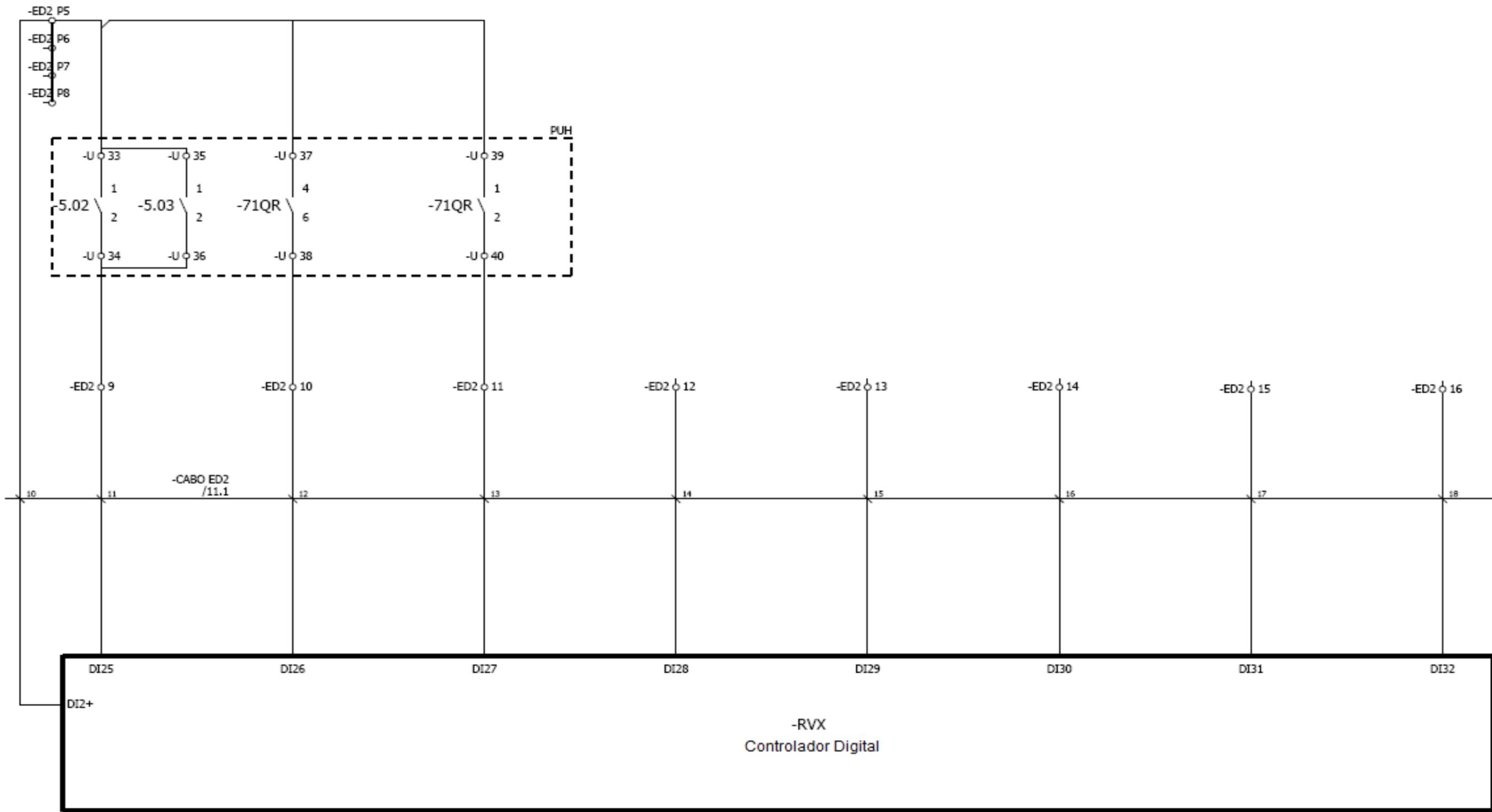
ENTRADAS DIGITALES							
VÁLVULA BY-PASS ABIERTA	VÁLVULA BY-PASS CIERRADA	VÁLVULA MARIPOSA ABIERTA	VÁLVULA MARIPOSA CIERRADA	PRESIÓN ECUALIZADA EN LA TUBERÍA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO		REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Entradas digitales Parte 2		
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	2 DE 11	

ENTRADAS DIGITALES

FILTRO SUCIO EN LA UH	NIVEL BAJO DEL ACEITE DE LA UH	NIVEL MUY BAJO DEL ACEITE DE LA UH	NO UTILIZADA				
-----------------------	--------------------------------	------------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------



-RVX
Controlador Digital

EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO		REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Entradas digitales Parte 3		
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	3 DE 11	

SALIDAS DIGITALES

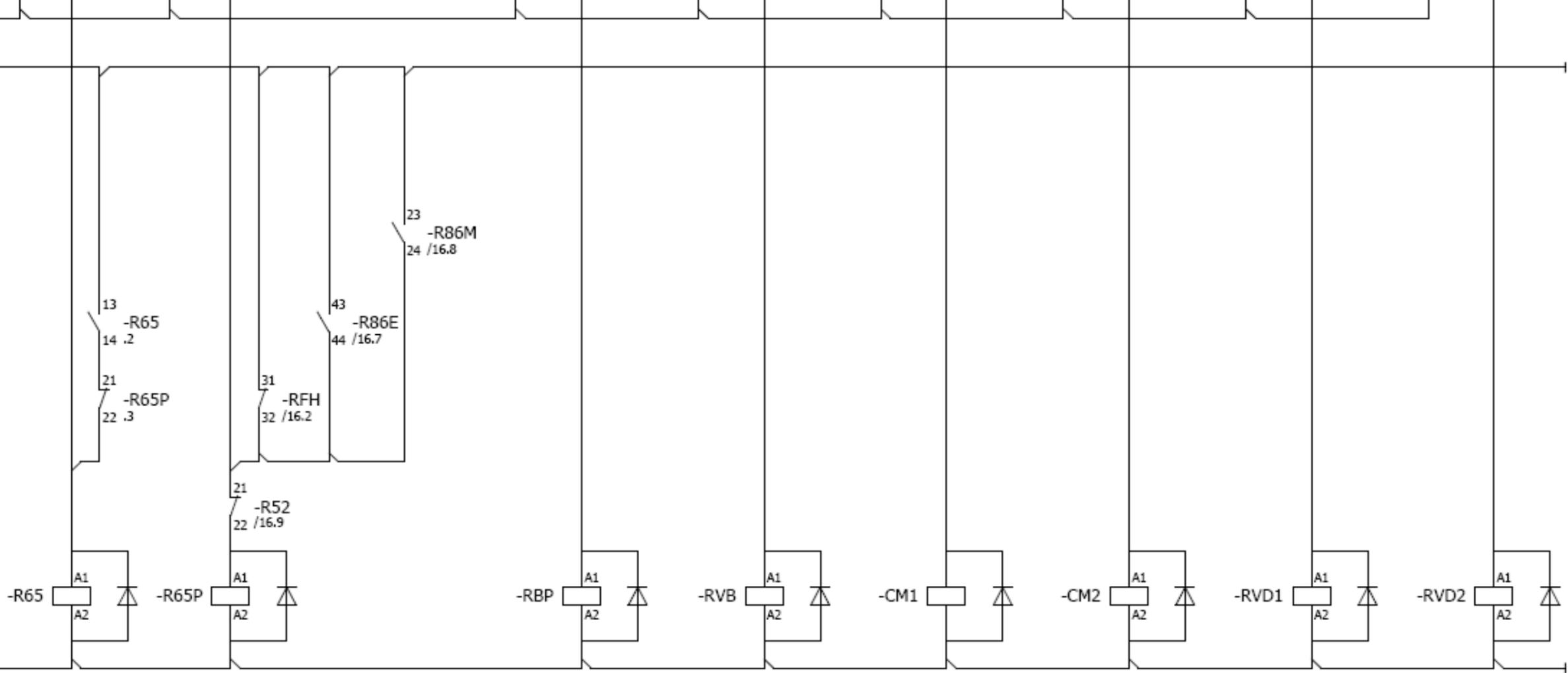
MANDO DE ARRANQUE	MANDO DE PARO	MANDO VÁLVULA BY-PASS	MANDO VÁLVULA MARIPOSA	MANDO BOMBA1	MADO BOMBA2	MANDO VÁLVULA DIRECCIONAL BOMBA1	MANDO VÁLVULA DIRECCIONAL BOMBA2
-------------------	---------------	-----------------------	------------------------	--------------	-------------	----------------------------------	----------------------------------



5.4 /-AL4_A(24P) →

5.4 /-AL5_A(24P) →

5.7 /-AL12_A(0V) →



SIE.3RH1140-1BB40
13 - 14 /2
23 - 24
33 - 34 /17.1
43 - 44

3RH1122-1BB40
A1 - A2
13 - 14
21 - 22 /2
31 - 32
43 - 44

3RH1122-1BB40
A1 - A2
13 - 14 /16.3
21 - 22 /16.4
31 - 32
43 - 44

3RH1122-1BB40
A1 - A2
13 - 14 /16.5
21 - 22 /16.5
31 - 32
43 - 44

2T1 - 1L1 /19.2
4T2 - 3L2 /19.2
6T3 - 5L3 /19.2
2T1 - 1L1
4T2 - 3L2

2T1 - 1L1 /19.3
4T2 - 3L2 /19.3
6T3 - 5L3 /19.4
2T1 - 1L1
4T2 - 3L2
6T3 - 5L3

SIE.3RH1140-1BB40
13 - 14 /17.3
23 - 24
33 - 34
43 - 44

SIE.3RH1140-1BB40
13 - 14 /17.4
23 - 24
33 - 34
43 - 44

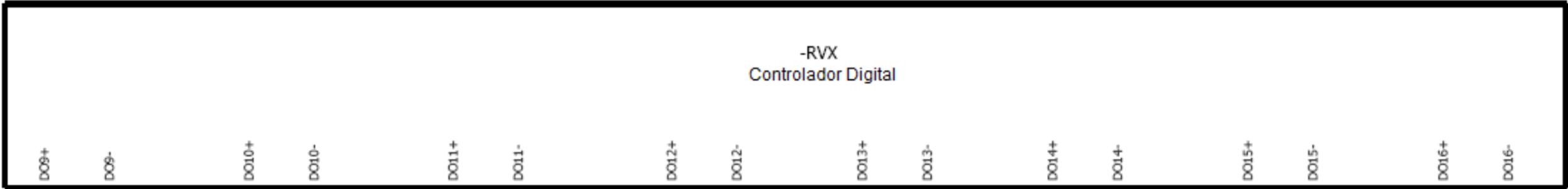
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.		ESCALA	SIN ESC	Salidas digitales Parte 1	
EMITIDO EERSSA		HOJA 4 DE 11			

8 7 6 5 4 3 2 1

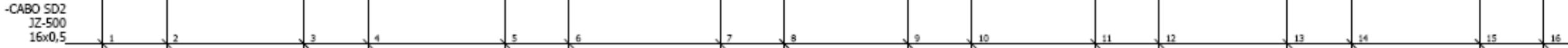
H H

SALIDAS DIGITALES							
REGULADOR LISTO	LIMITADOR ACTUADO	RELE DE POTENCIA NULA	MÁQUINA PARADA	RELE DE VELOCIDAD 1	RELE DE VELOCIDAD 2	RELE DE VELOCIDAD 3	NO UTILIZADA

G G



F F



E E

-SD2 0 1 -SD2 0 2 -SD2 0 3 -SD2 0 4 -SD2 0 5 -SD2 0 6 -SD2 0 7 -SD2 0 8 -SD2 0 9 -SD2 0 10 -SD2 0 11 -SD2 0 12 -SD2 0 13 -SD2 0 14 -SD2 0 15 -SD2 0 16

D D

C C

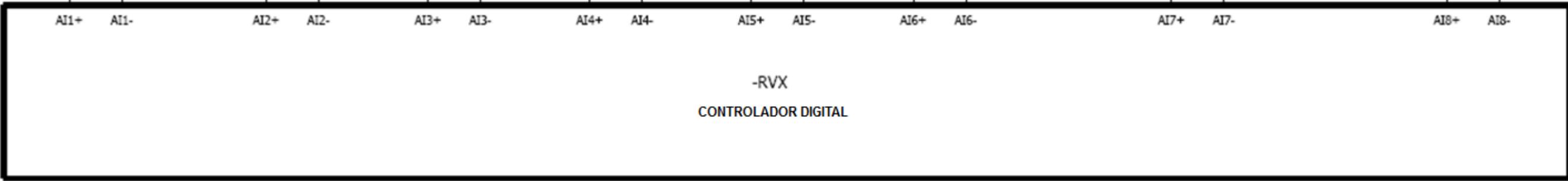
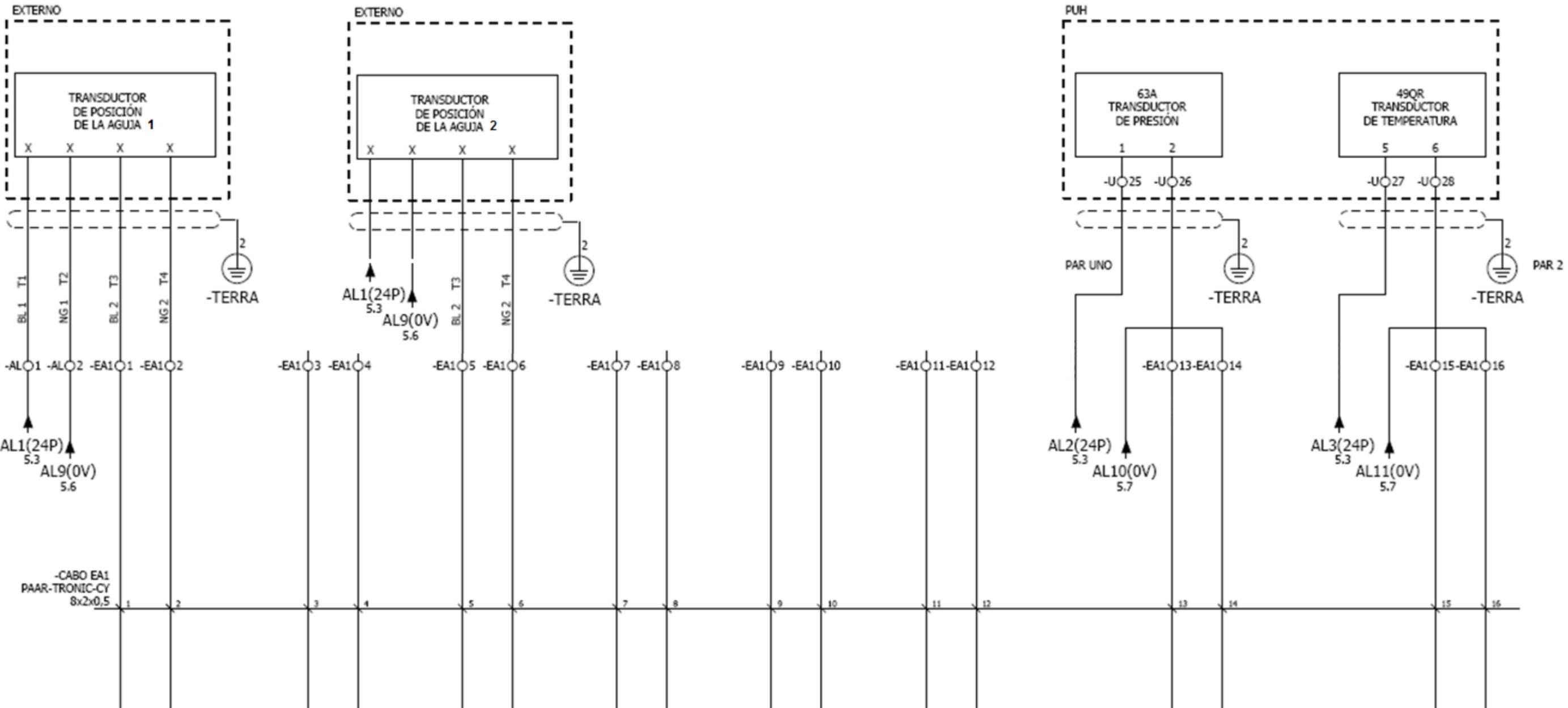
B B

A A

EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Salidas Digitales Parte 2	
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	5 DE 11

8 7 6 5 4 3 2 1

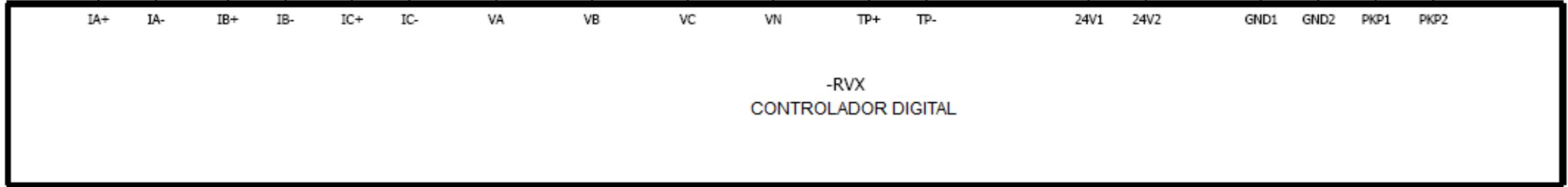
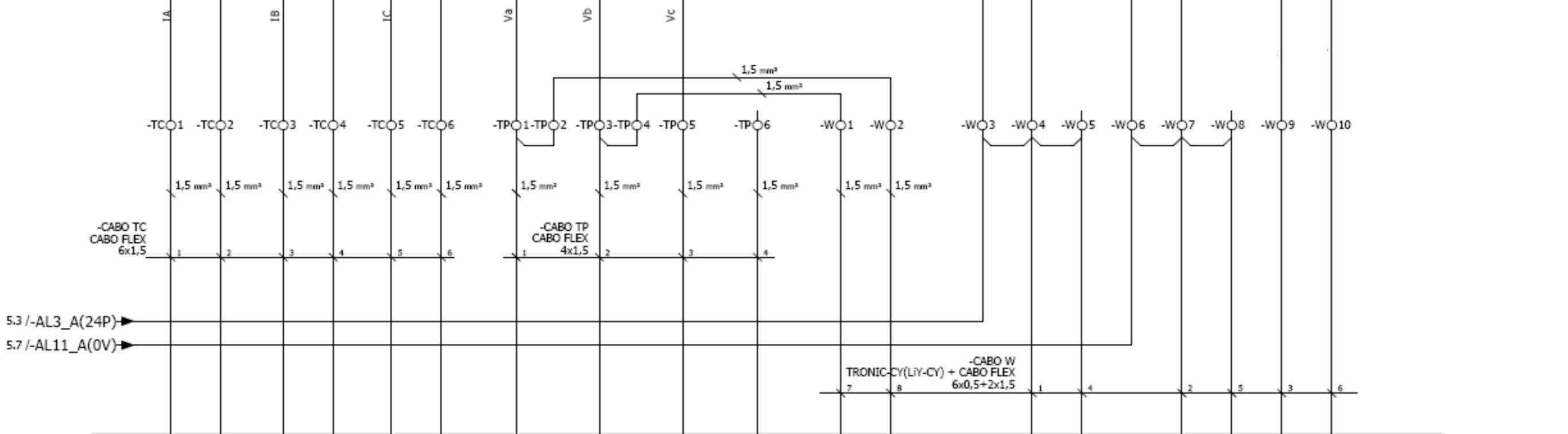
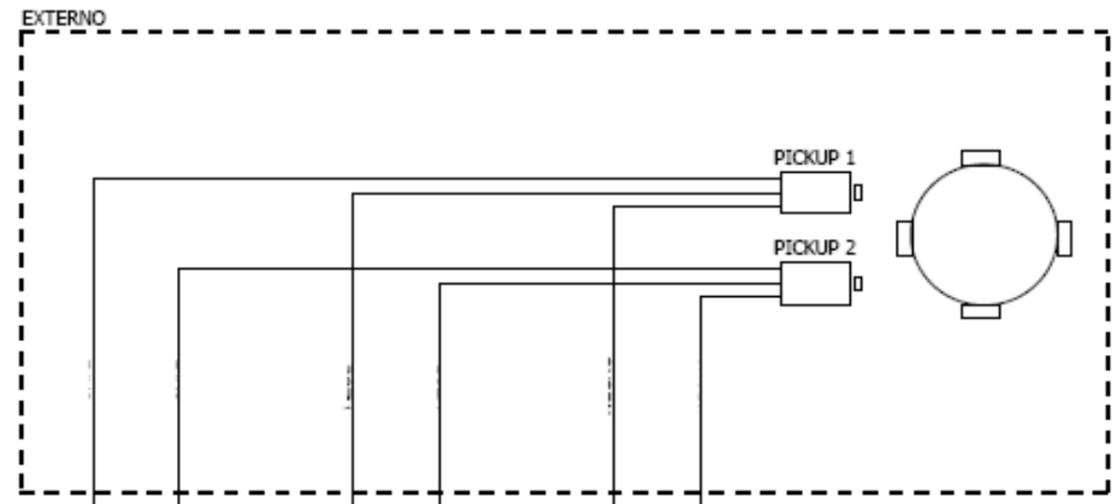
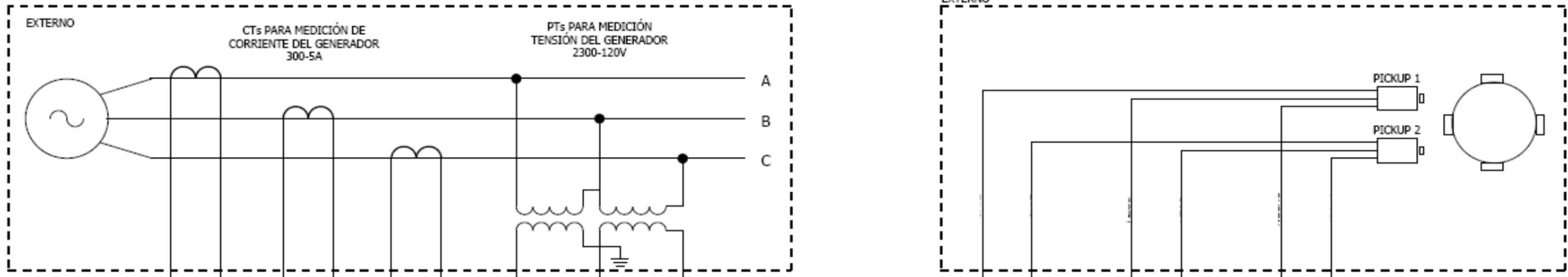
ENTRADAS ANÁLOGAS							
POSICION DE AGUJA 1	NO UTILIZADA	POSICION DE AGUJA 2	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	PRESIÓN DEL ACEITE DE LA UH	TEMPERATURA DEL ACEITE DE LA UH



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Entradas analógicas Parte 1	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	6 DE 11

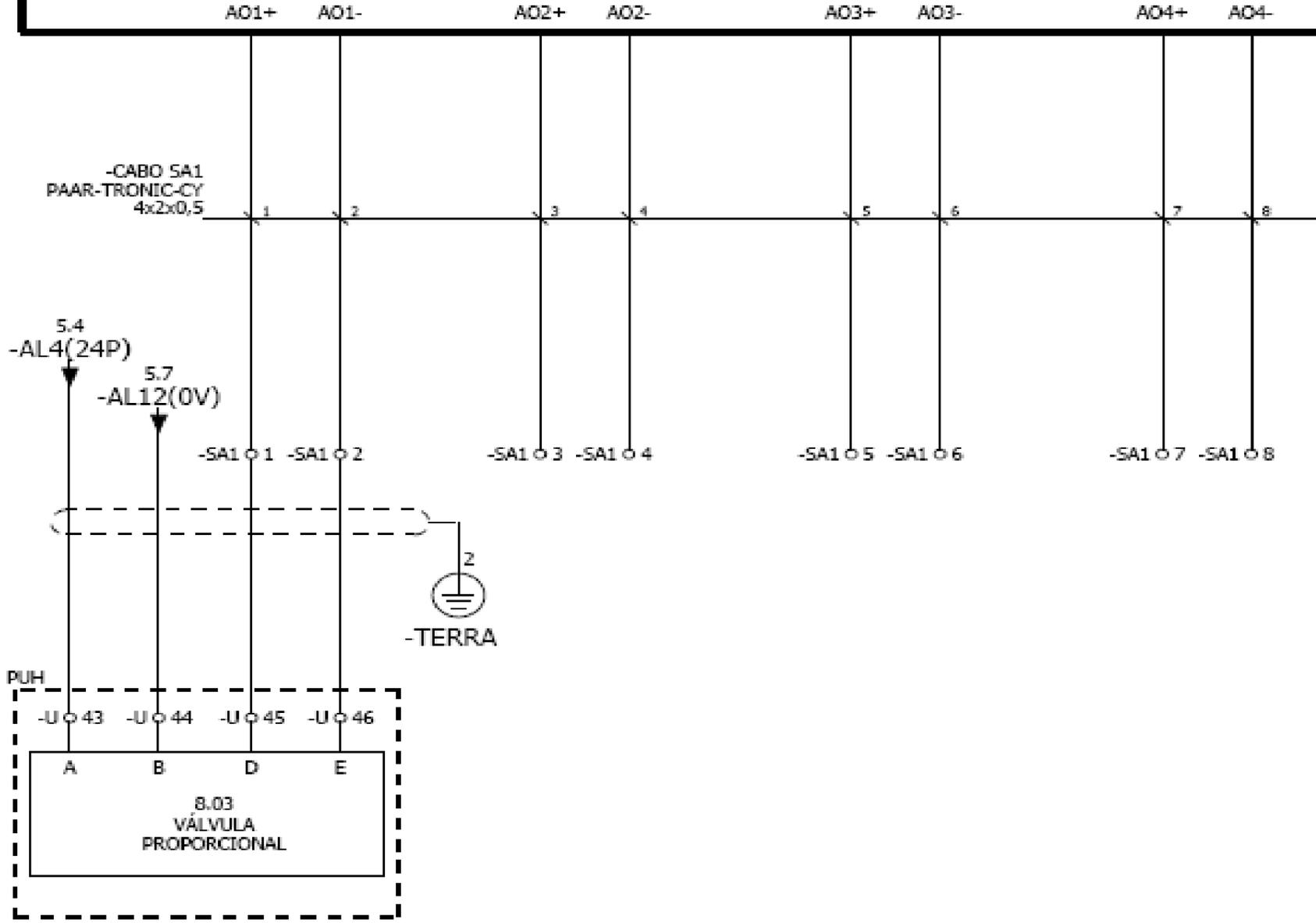
ENTRADAS ANÁLOGAS

MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL GENERADOR	MEDICIÓN DE TENSIÓN DEL GENERADOR	MEDICIÓN DE FRECUENCIA VIA TP	MEDICIÓN DE FRECUENCIA VIA PICKUPS	RUEDA DENTADA
-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---------------



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Entradas analógicas Parte 2	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	7 DE 11

SALIDAS ANALOGAS				
SEÑAL DE CONTROL VÁLVULA PROPORCIONAL	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	



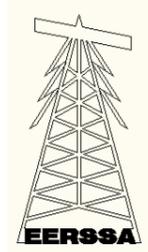
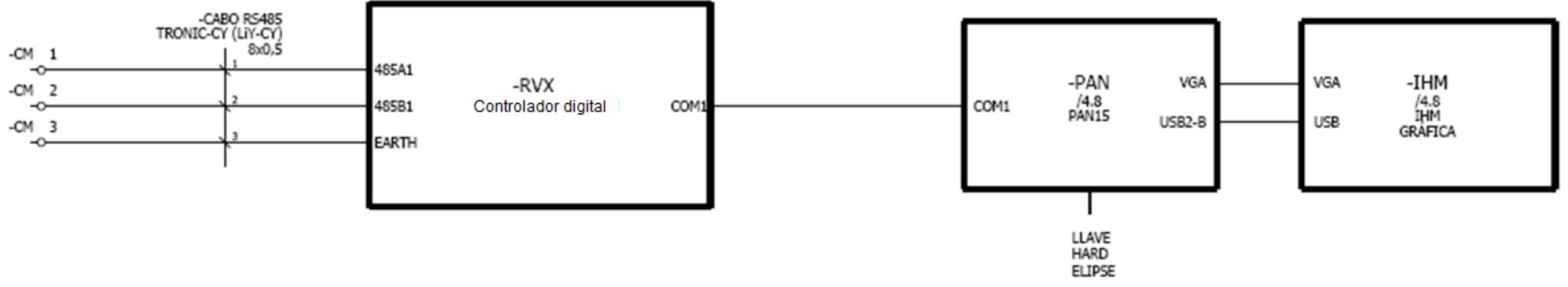
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Salidas analógicas Parte 1	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	8 DE 11

INTERLIGACIÓN RED DE COMUNICACIÓN INTERNA Y EXTERNA

INTERFAZ EXTERNA

CPU DE CONTROL

IHM GRÁFICA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

LOJA-ECUADOR

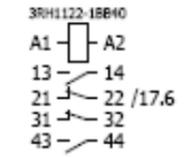
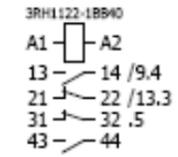
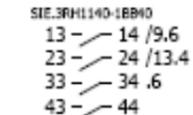
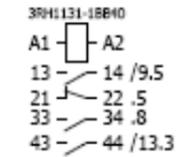
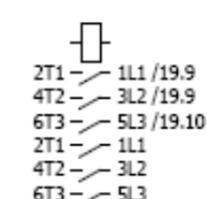
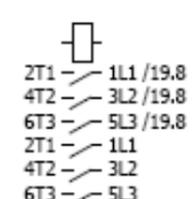
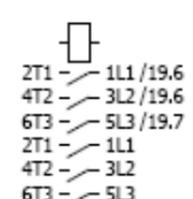
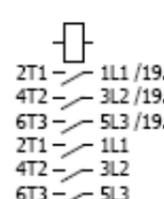
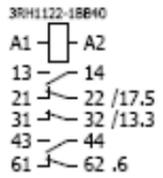
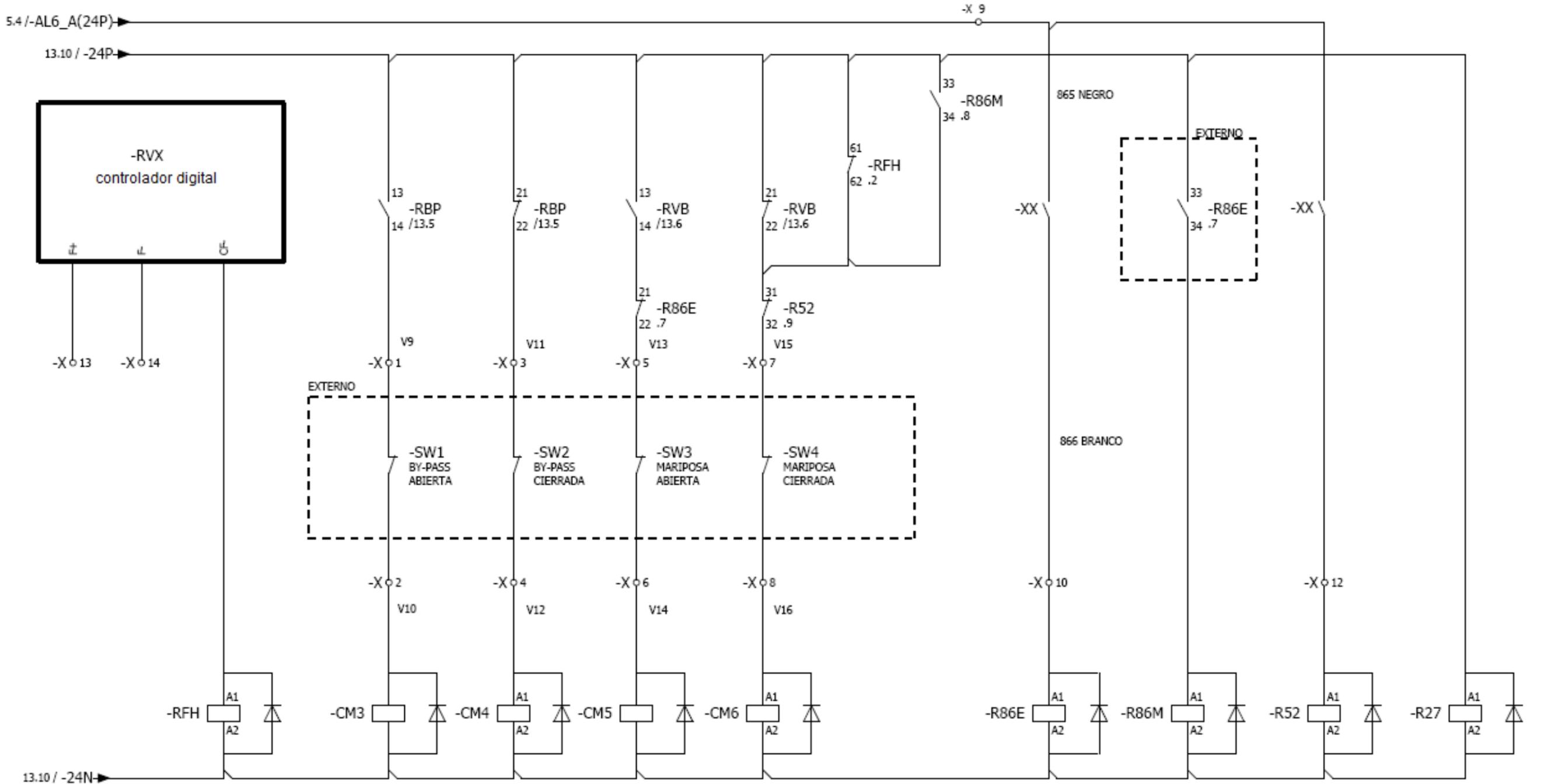
REGULADOR DIGITAL PARA TURBINAS PELTON

INTERFAZ CONTROLADOR-PAN 15-IHM

TAMAÑO	Nº DE FAX	Nº DIBUJO	REV.
ESCALA	1:10	HOJA	9 DE 11

JORGE CARRERA ORELLANA

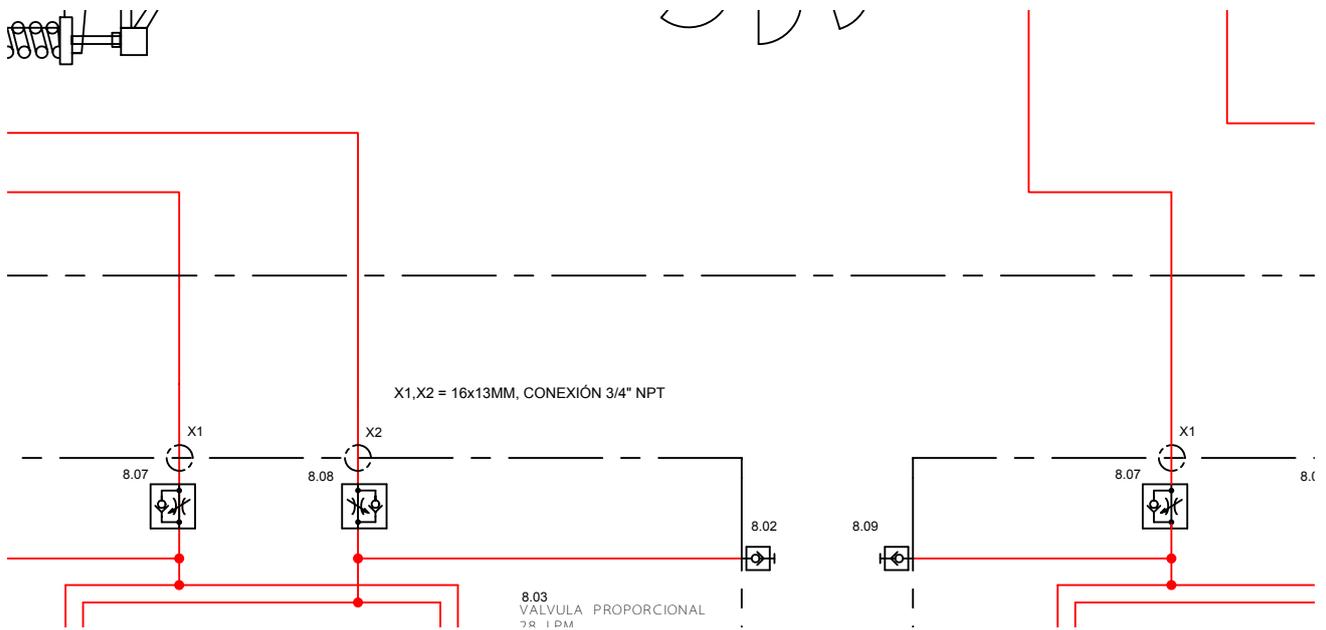
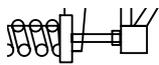
LÓGICAS AUXILIARES									
FALLA LEVE EN EL HARDWARE	FALLA GRAVE EN EL HARDWARE	MANDO ABRIR VALVULA BY-PASS	MANDO CERRAR VALVULA BY-PASS	MANDO ABRIR VÁLVULA MARIPOSA	MANDO CIERRAR VALVULA MARIPOSA	BLOQUEO ELÉCTRICO EXTERNO	BLOQUEO MECANICO EXTERNO	ESTADO DEL DISYUNTOR DE GRUPO 52	FALLA ALIMENTACIÓN CC

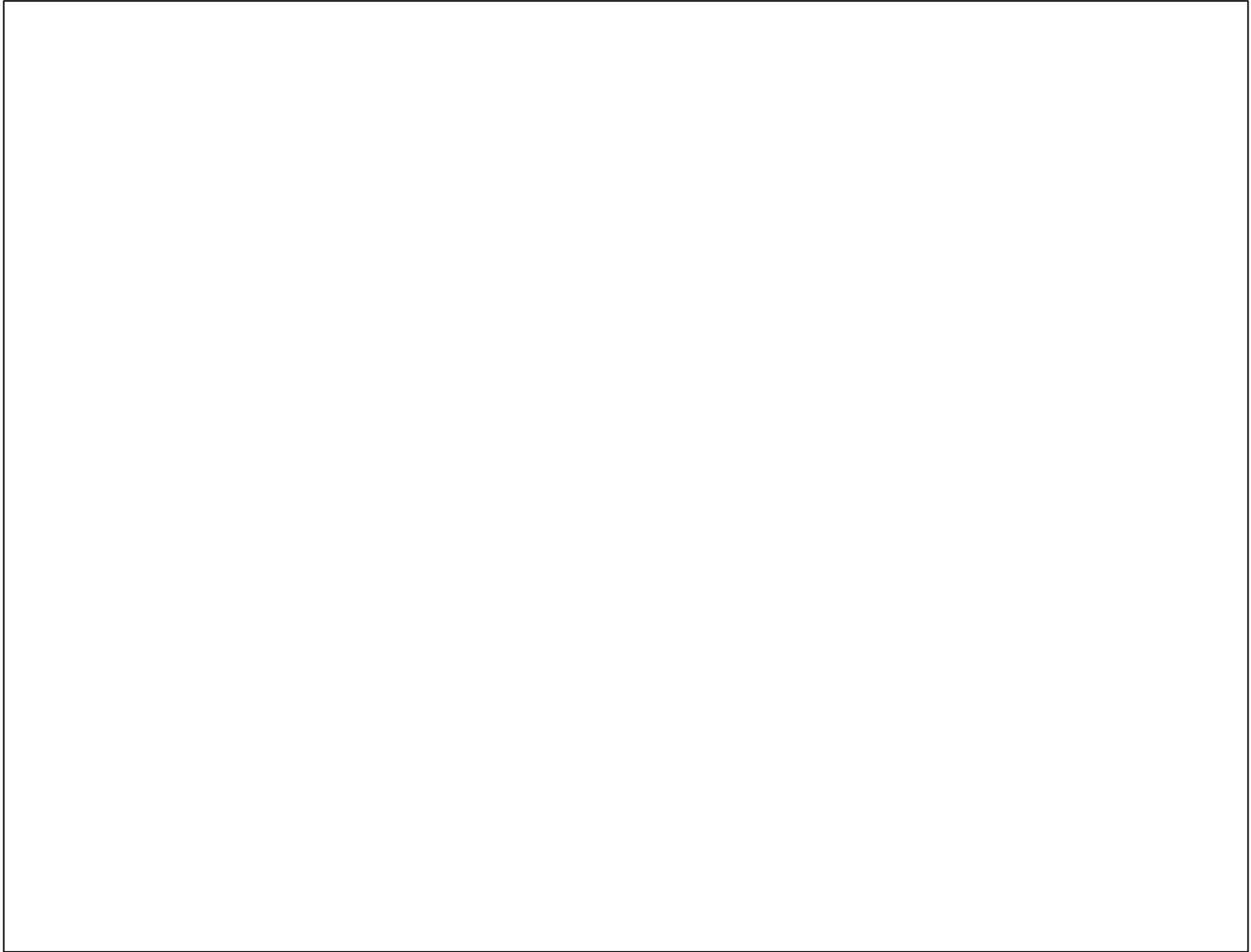


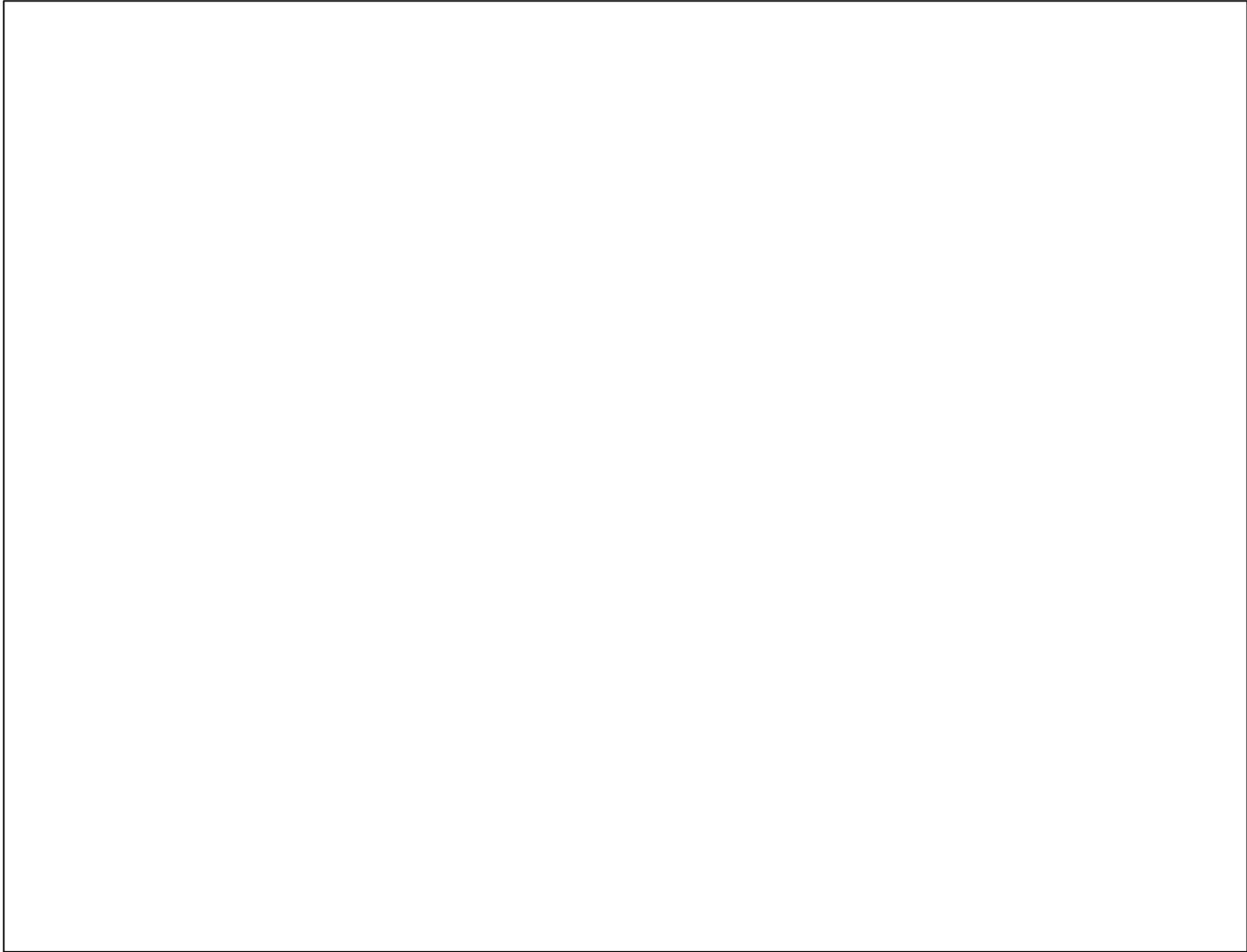
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO		REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Lógicas auxiliares		
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	10 DE 11	

ANEXO 4

DIAGRAMA ESQUEMATICO UNIDAD HIDRAULICA PARA EL GRUPO NUMERO 2 CENTRAL CARLOS MORA CARRION

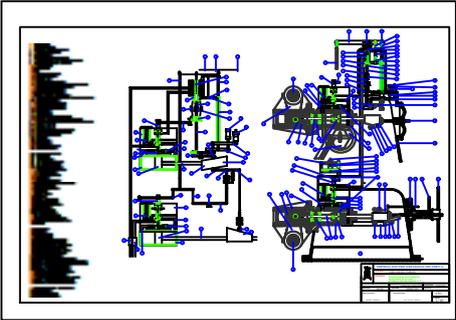






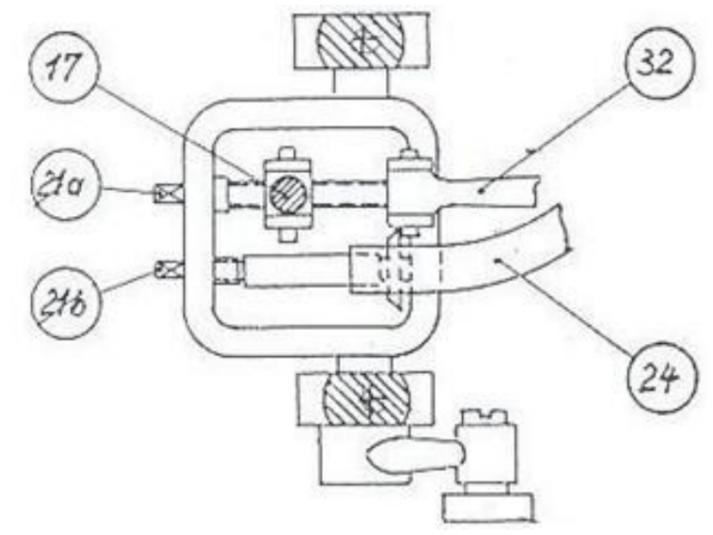
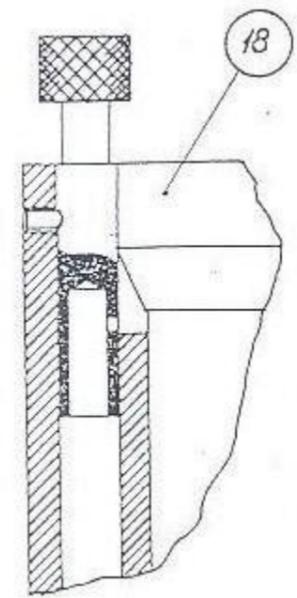
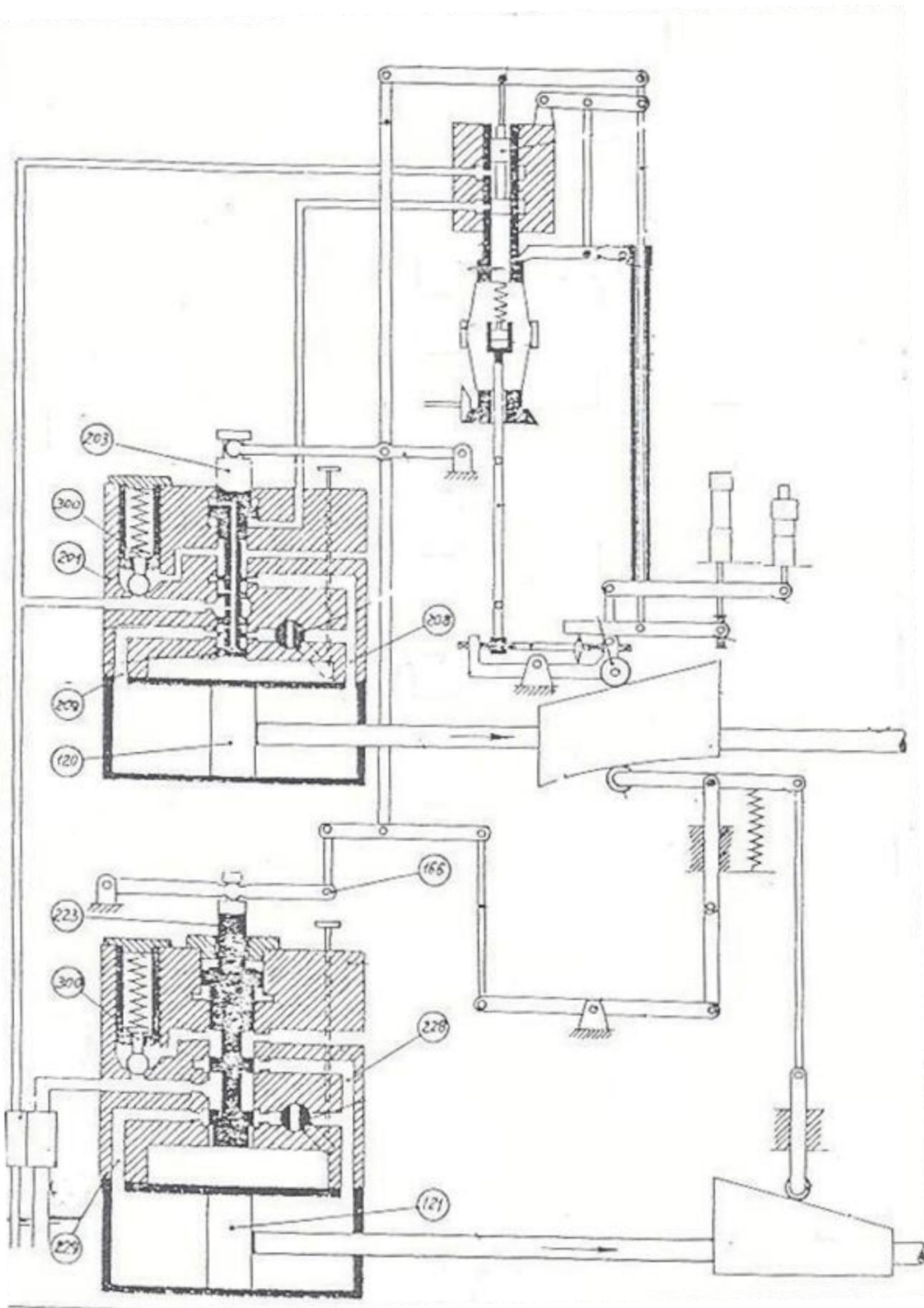
ANEXO 1

DENOMINACION DE ELEMENTOS REGULADOR FD 50 PARA TURBINAS PELTON GRUPOS 1 Y 2



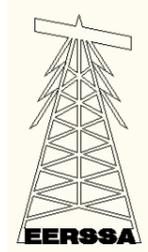
ANEXO 2

FUNCIONAMIENTO VALVULAS Y DESCRIPCION DE SUS PARTES DEL REGULADOR FD 50 PARA TURBINAS DE CHORRO LIBRE



Denominación de los elementos señalados con números

166	palanca gobernadora (válvula del desviador)
201	Caja válvula gobernadora de la aguja
203	Embolo de gobierno válvula gobernadora de aguja
223	Espiga Gobernadora válvula gobernadora del desviador
208	Canal "abrir" válvula gobernadora de aguja
209	Canal "cerrar" válvula gobernadora de aguja
228	Canal "abrir" válvula gobernadora del desviador
229	Canal "cerrar" válvula gobernadora del desviador
120	Embolo servomotor de aguja
121	Embolo servomotor del desviador
17	Vástago para el freno de aceite
18	Cilindro de freno de aceite
21a	Tornillo de ajuste para la estabilidad
21b	Tornillo de ajuste para el grado de permanente de desuniformidad
24	Palanca para el variador de velocidad
32	Palanca para la limitacion de abertura

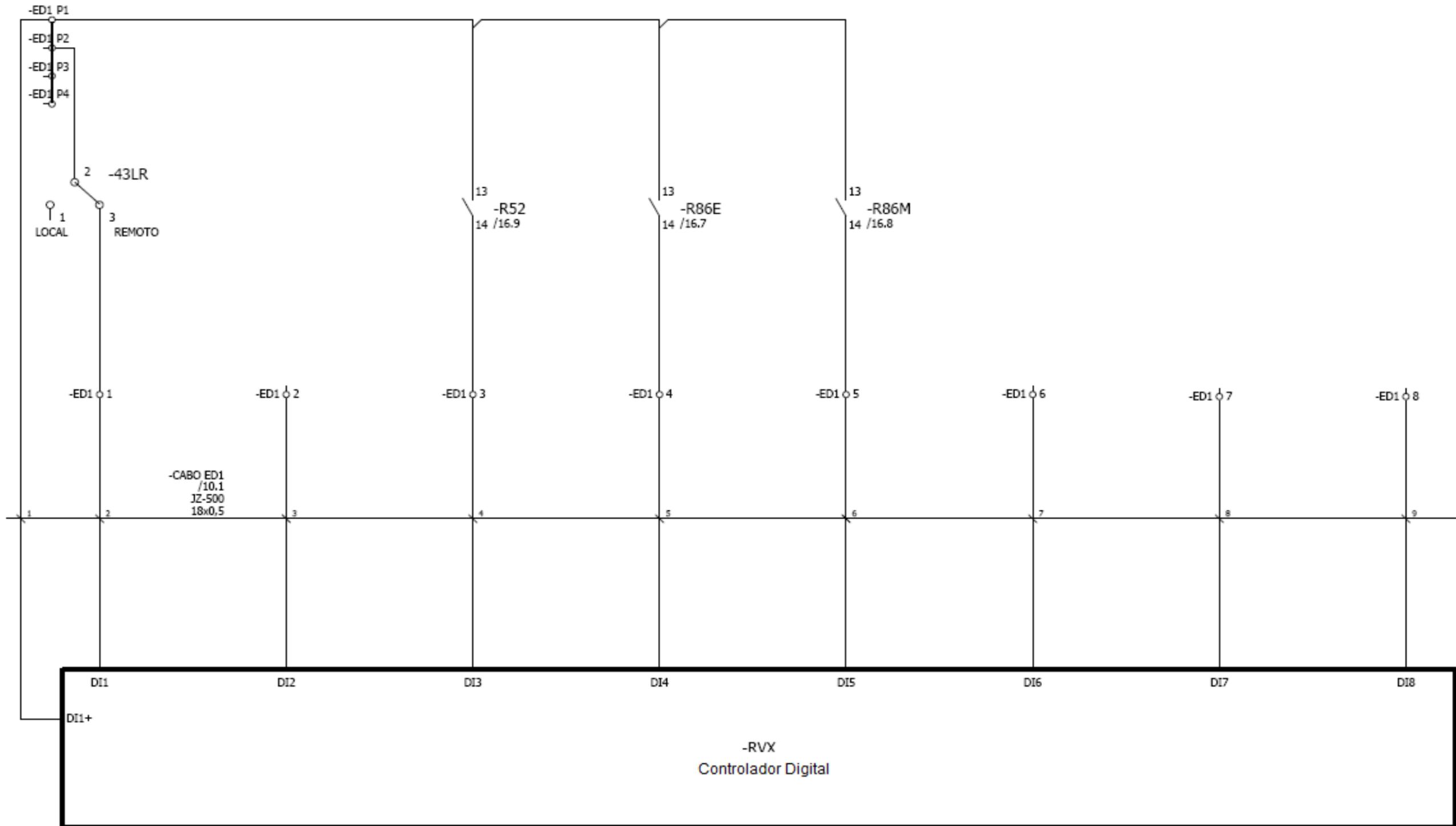


FUNCIONAMIENTO VALVULAS Y DESCRIPCION DE SUS PARTES				
REGULADOR FD 50 PARA TURBINAS DE CHORRO LIBRE				
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.	TAMAÑO	Nº DE FAX	Nº DIBUJO	REV.
	LOJA-ECUADOR	ESCALA	JORGE CARRERA ORELLANA	1 DE 1
	1:10		HOJA	1 DE 1

ANEXO 3

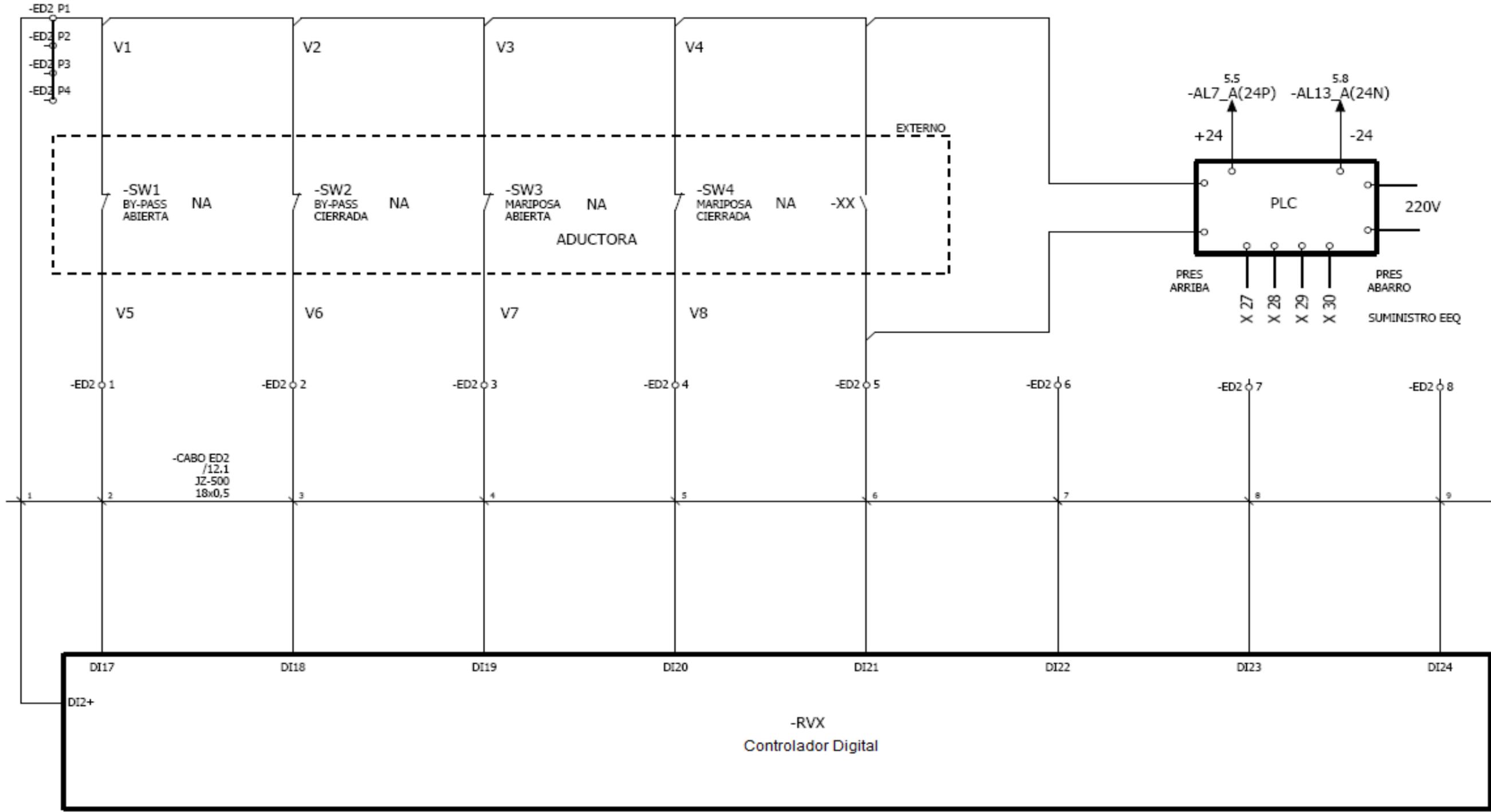
**DIAGRAMAS UNIFILARES PARA LAS SEÑALES
ANALOGICAS Y DIGITALES DEL REGULADOR
ELECTRONICO DE VELOCIDAD CENTRAL CARLOS
MORA CARRION**

ENTRADAS DIGITALES							
SELECCIÓN LOCAL/REMOTO	NO UTILIZADA	ESTADO DEL DISYUNTOR DE GRUPO	BLOQUEIO ELECTRICO (TRIP)	BLOQUEIO MECANICO	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Entradas Digitales Parte 1	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	1 DE 11

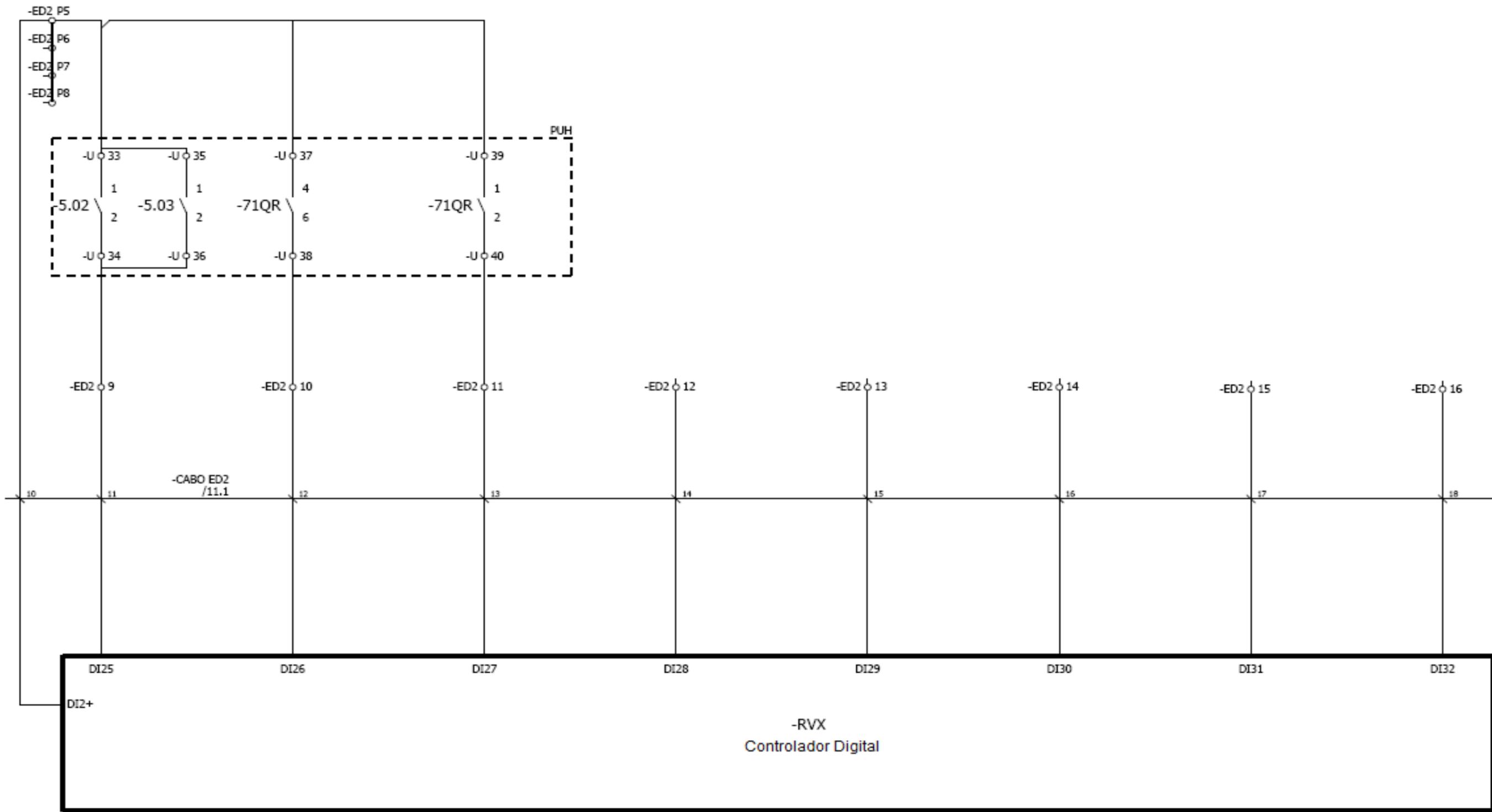
ENTRADAS DIGITALES							
VÁLVULA BY-PASS ABIERTA	VÁLVULA BY-PASS CIERRADA	VÁLVULA MARIPOSA ABIERTA	VÁLVULA MARIPOSA CIERRADA	PRESIÓN ECUALIZADA EN LA TUBERÍA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO		REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Entradas digitales Parte 2		
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	2 DE 11	

ENTRADAS DIGITALES

FILTRO SUCIO EN LA UH	NIVEL BAJO DEL ACEITE DE LA UH	NIVEL MUY BAJO DEL ACEITE DE LA UH	NO UTILIZADA				
-----------------------	--------------------------------	------------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Entradas digitales Parte 3	
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	3 DE 11

SALIDAS DIGITALES

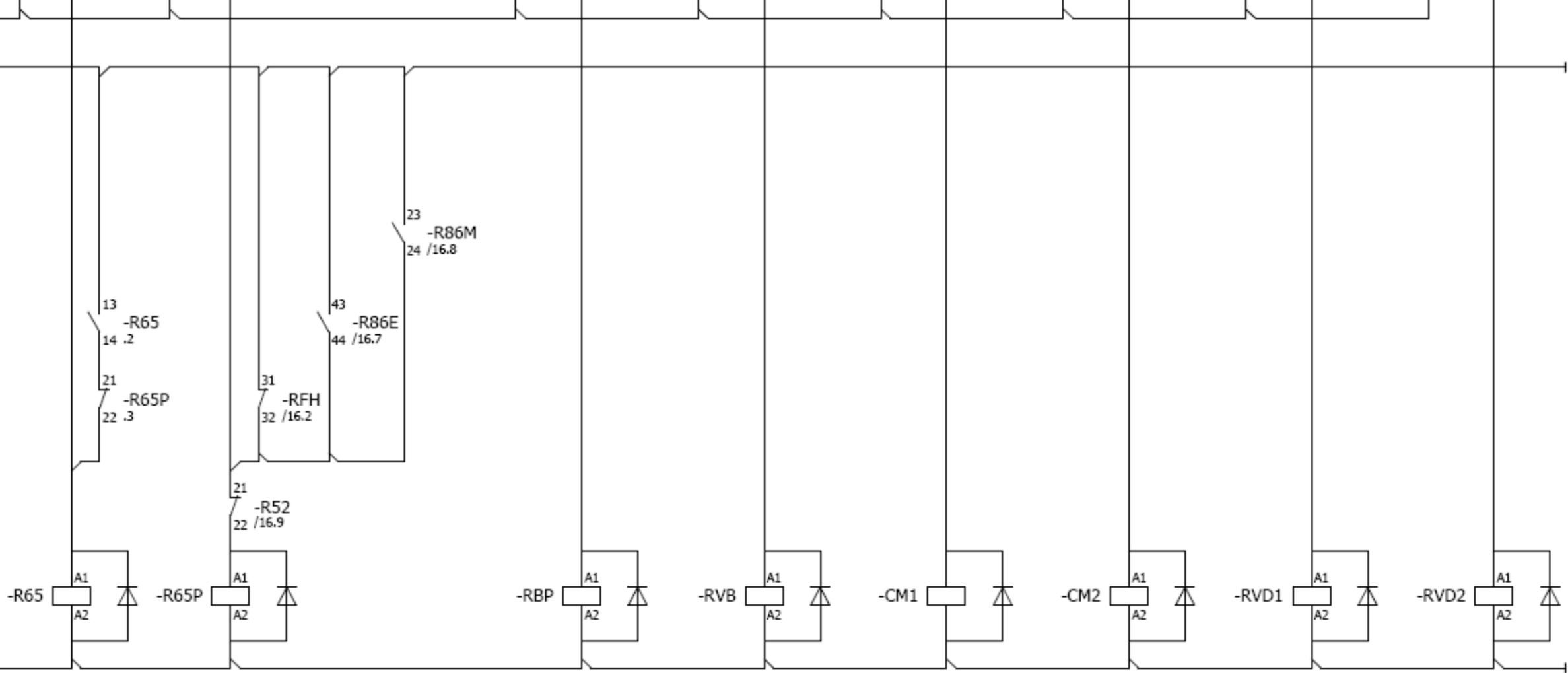
MANDO DE ARRANQUE	MANDO DE PARO	MANDO VÁLVULA BY-PASS	MANDO VÁLVULA MARIPOSA	MANDO BOMBA1	MADO BOMBA2	MANDO VÁLVULA DIRECCIONAL BOMBA1	MANDO VÁLVULA DIRECCIONAL BOMBA2
-------------------	---------------	-----------------------	------------------------	--------------	-------------	----------------------------------	----------------------------------



5.4 /-AL4_A(24P) →

5.4 /-AL5_A(24P) →

5.7 /-AL12_A(0V) →



SIE.3RH1140-1BB40
13 - 14 /2
23 - 24
33 - 34 /17.1
43 - 44

3RH1122-1BB40
A1 - A2
13 - 14
21 - 22 /2
31 - 32
43 - 44

3RH1122-1BB40
A1 - A2
13 - 14 /16.3
21 - 22 /16.4
31 - 32
43 - 44

3RH1122-1BB40
A1 - A2
13 - 14 /16.5
21 - 22 /16.5
31 - 32
43 - 44

2T1 - 1L1 /19.2
4T2 - 3L2 /19.2
6T3 - 5L3 /19.2
2T1 - 1L1
4T2 - 3L2

2T1 - 1L1 /19.3
4T2 - 3L2 /19.3
6T3 - 5L3 /19.4
2T1 - 1L1
4T2 - 3L2
6T3 - 5L3

SIE.3RH1140-1BB40
13 - 14 /17.3
23 - 24
33 - 34
43 - 44

SIE.3RH1140-1BB40
13 - 14 /17.4
23 - 24
33 - 34
43 - 44

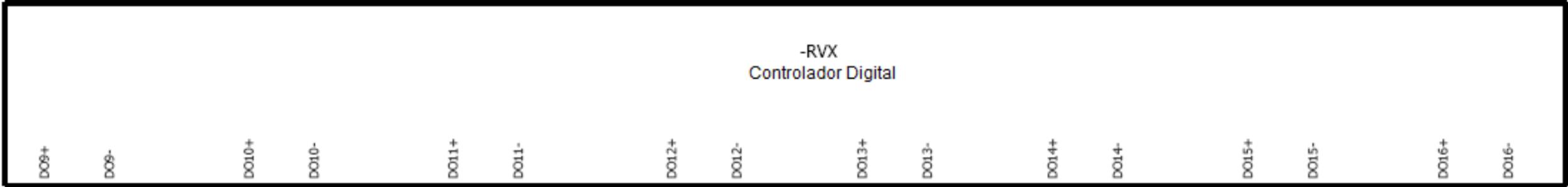
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.		ESCALA	SIN ESC	Salidas digitales Parte 1	
EMITIDO EERSSA		HOJA 4 DE 11			

8 7 6 5 4 3 2 1

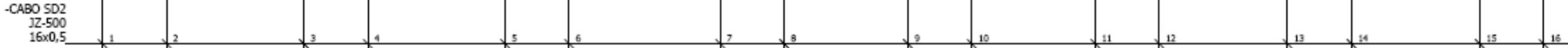
H H

SALIDAS DIGITALES							
REGULADOR LISTO	LIMITADOR ACTUADO	RELE DE POTENCIA NULA	MÁQUINA PARADA	RELE DE VELOCIDAD 1	RELE DE VELOCIDAD 2	RELE DE VELOCIDAD 3	NO UTILIZADA

G G



F F



E E

-SD2 0 1 -SD2 0 2 -SD2 0 3 -SD2 0 4 -SD2 0 5 -SD2 0 6 -SD2 0 7 -SD2 0 8 -SD2 0 9 -SD2 0 10 -SD2 0 11 -SD2 0 12 -SD2 0 13 -SD2 0 14 -SD2 0 15 -SD2 0 16

D D

C C

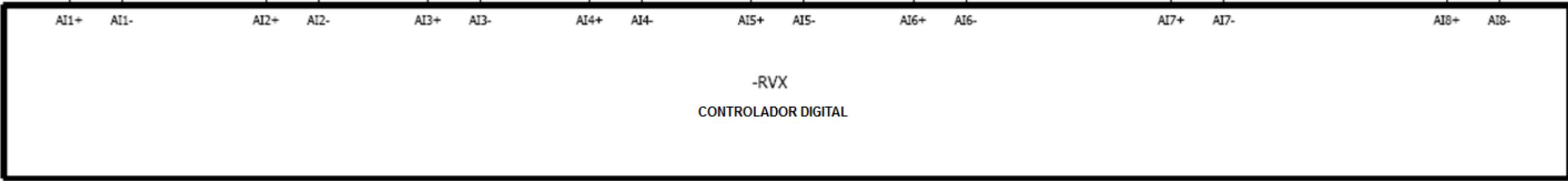
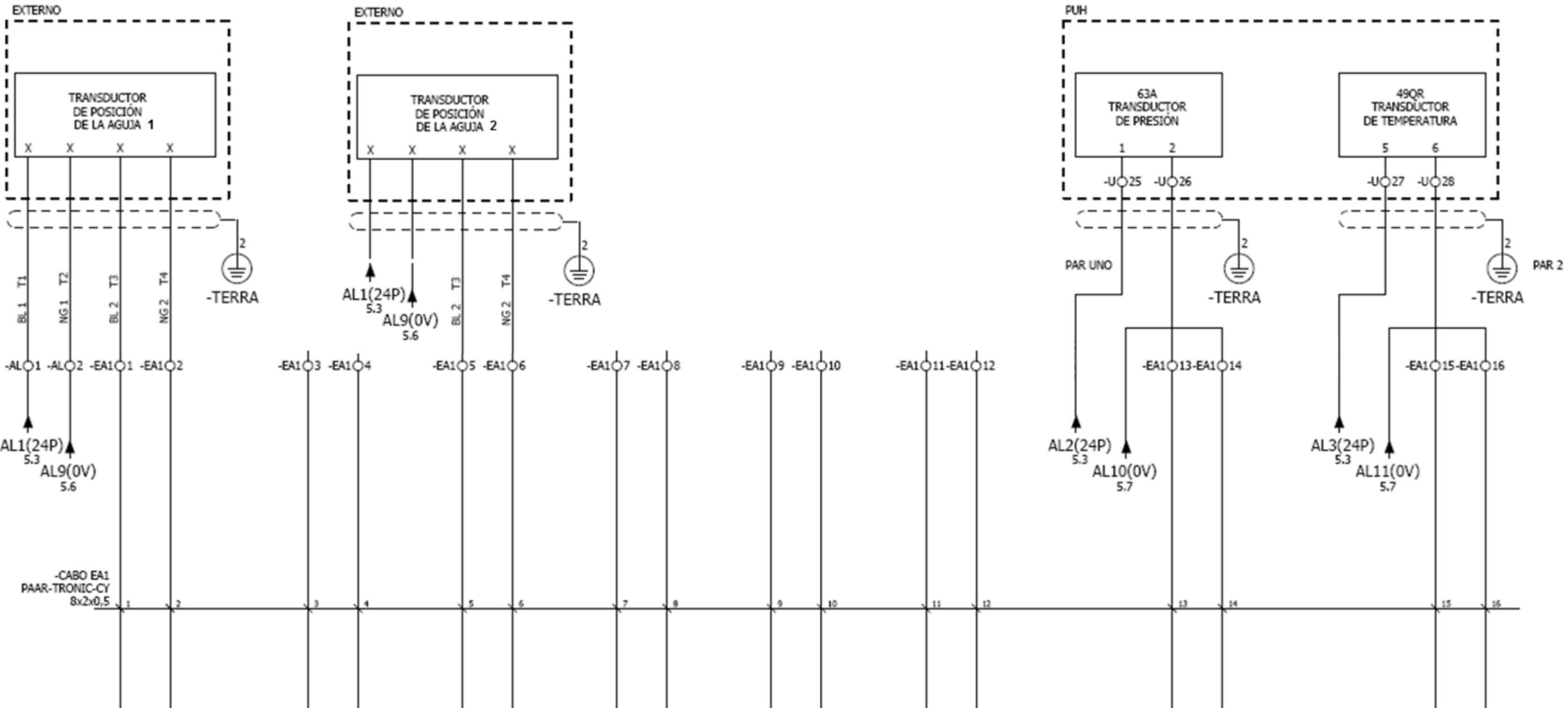
B B

A A

EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Salidas Digitales Parte 2	
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	5 DE 11

8 7 6 5 4 3 2 1

ENTRADAS ANÁLOGAS							
POSICION DE AGUJA 1	NO UTILIZADA	POSICION DE AGUJA 2	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	PRESIÓN DEL ACEITE DE LA UH	TEMPERATURA DEL ACEITE DE LA UH



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Entradas analógicas Parte 1	
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	6 DE 11

ENTRADAS ANÁLOGAS

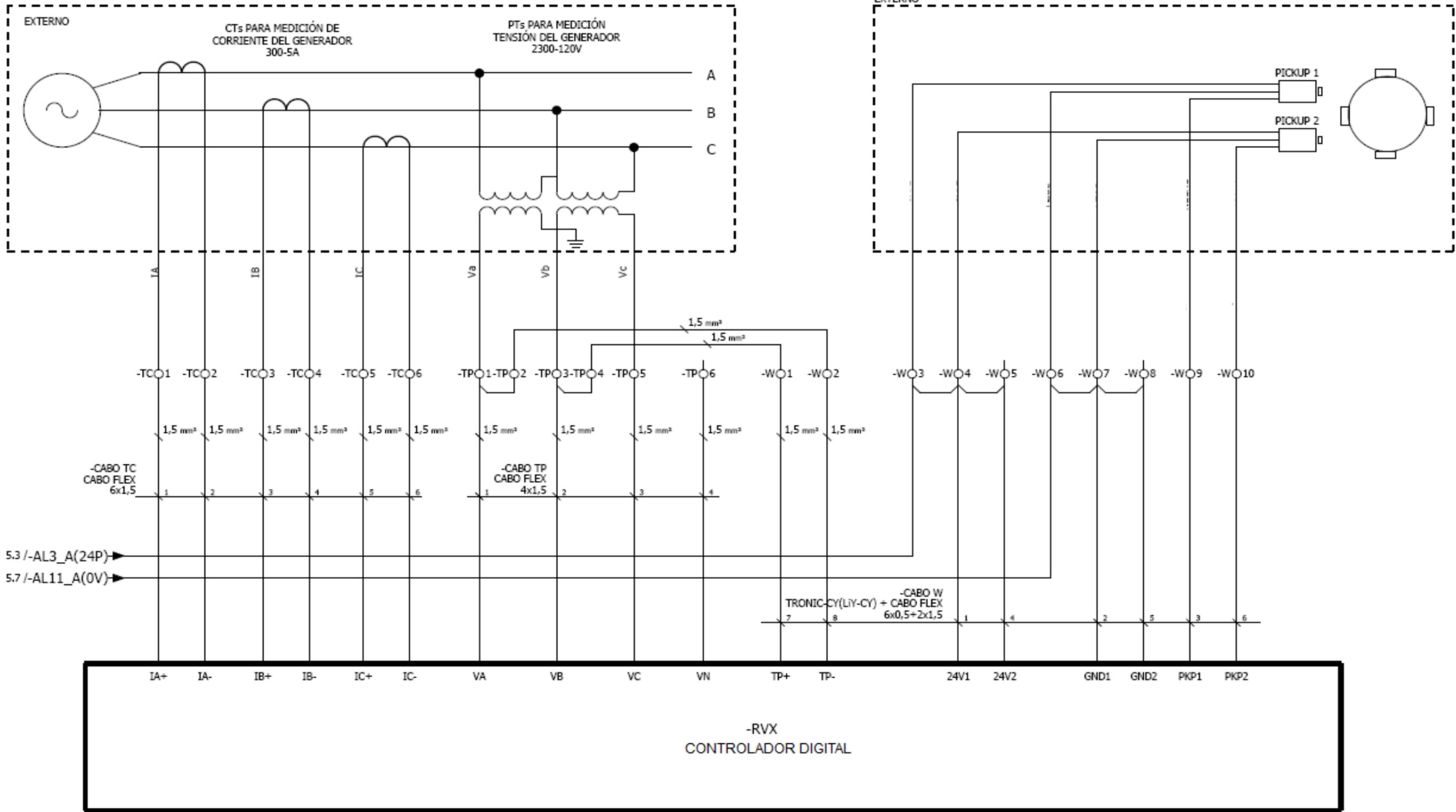
MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL GENERADOR

MEDICIÓN DE TENSIÓN DEL GENERADOR

MEDICIÓN DE FRECUENCIA VIA TP

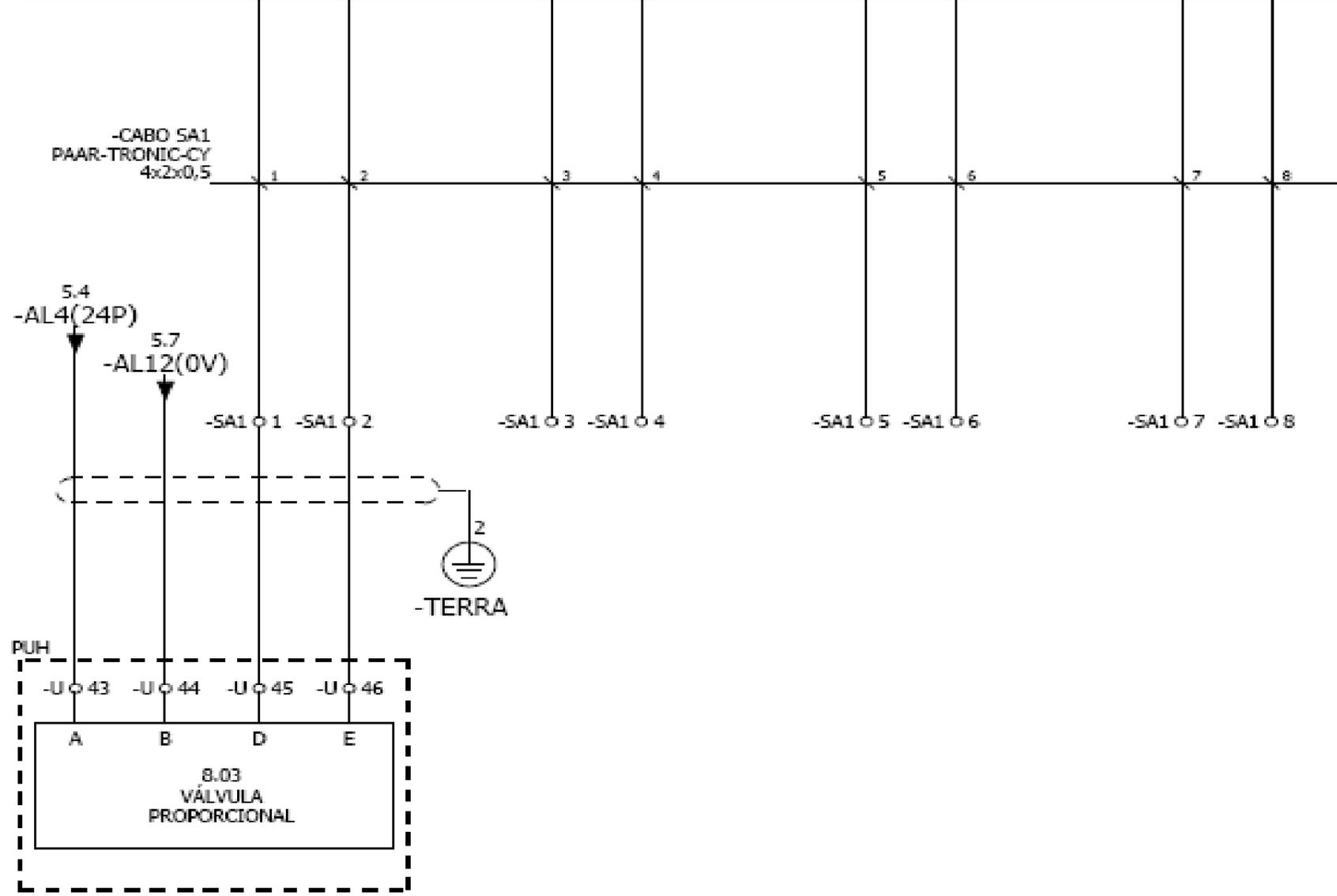
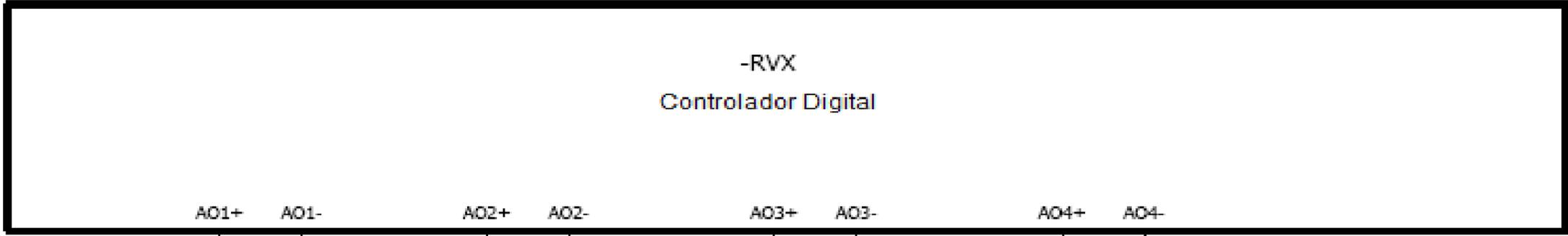
MEDICIÓN DE FRECUENCIA VIA PICKUPS

RUEDA DENTADA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Entradas analógicas Parte 2	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	7 DE 11

SALIDAS ANALOGAS				
SEÑAL DE CONTROL VÁLVULA PROPORCIONAL	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA	



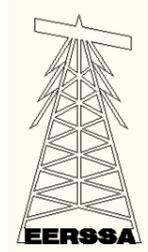
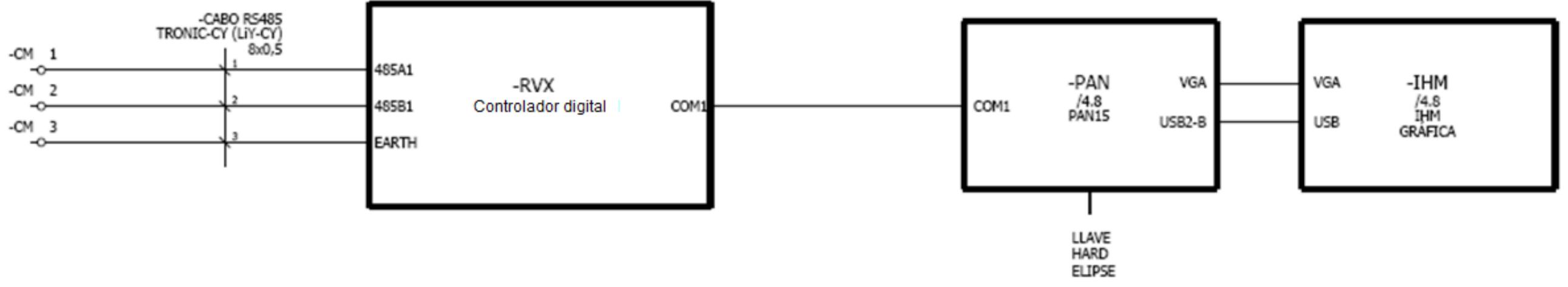
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Salidas analógicas Parte 1	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	8 DE 11

INTERLIGACIÓN RED DE COMUNICACIÓN INTERNA Y EXTERNA

INTERFAZ EXTERNA

CPU DE CONTROL

IHM GRÁFICA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.

LOJA-ECUADOR

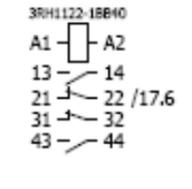
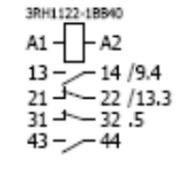
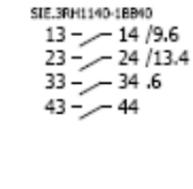
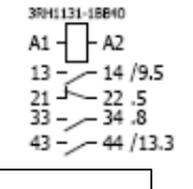
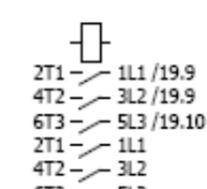
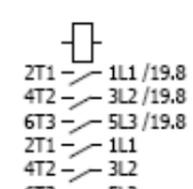
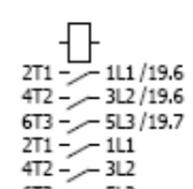
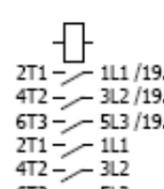
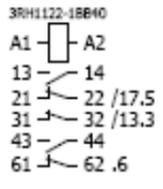
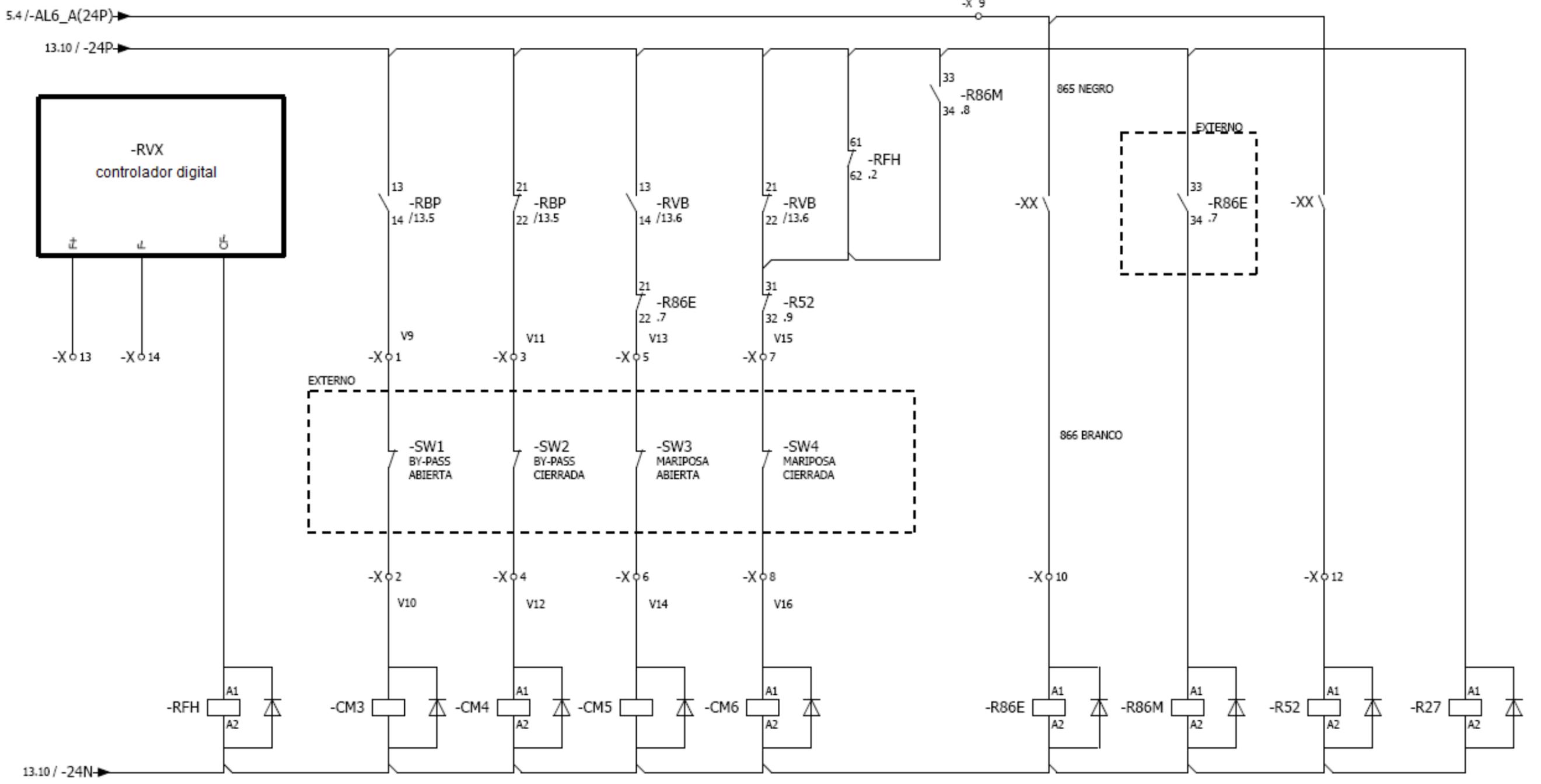
REGULADOR DIGITAL PARA TURBINAS PELTON

INTERFAZ CONTROLADOR-PAN 15-IHM

TAMAÑO	Nº DE FAX	Nº DIBUJO	REV.
ESCALA	1:10	HOJA	9 DE 11

JORGE CARRERA ORELLANA

LÓGICAS AUXILIARES									
FALLA LEVE EN EL HARDWARE	FALLA GRAVE EN EL HARDWARE	MANDO ABRIR VALVULA BY-PASS	MANDO CERRAR VALVULA BY-PASS	MANDO ABRIR VÁLVULA MARIPOSA	MANDO CIERRAR VALVULA MARIPOSA	BLOQUEO ELÉCTRICO EXTERNO	BLOQUEO MECANICO EXTERNO	ESTADO DEL DISYUNTOR DE GRUPO 52	FALLA ALIMENTACIÓN CC



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO		REV.
DIBUJADO JORGE CARRERA O.				Lógicas auxiliares		
EMITIDO EERSSA		ESCALA	SIN ESC	HOJA	10 DE 11	

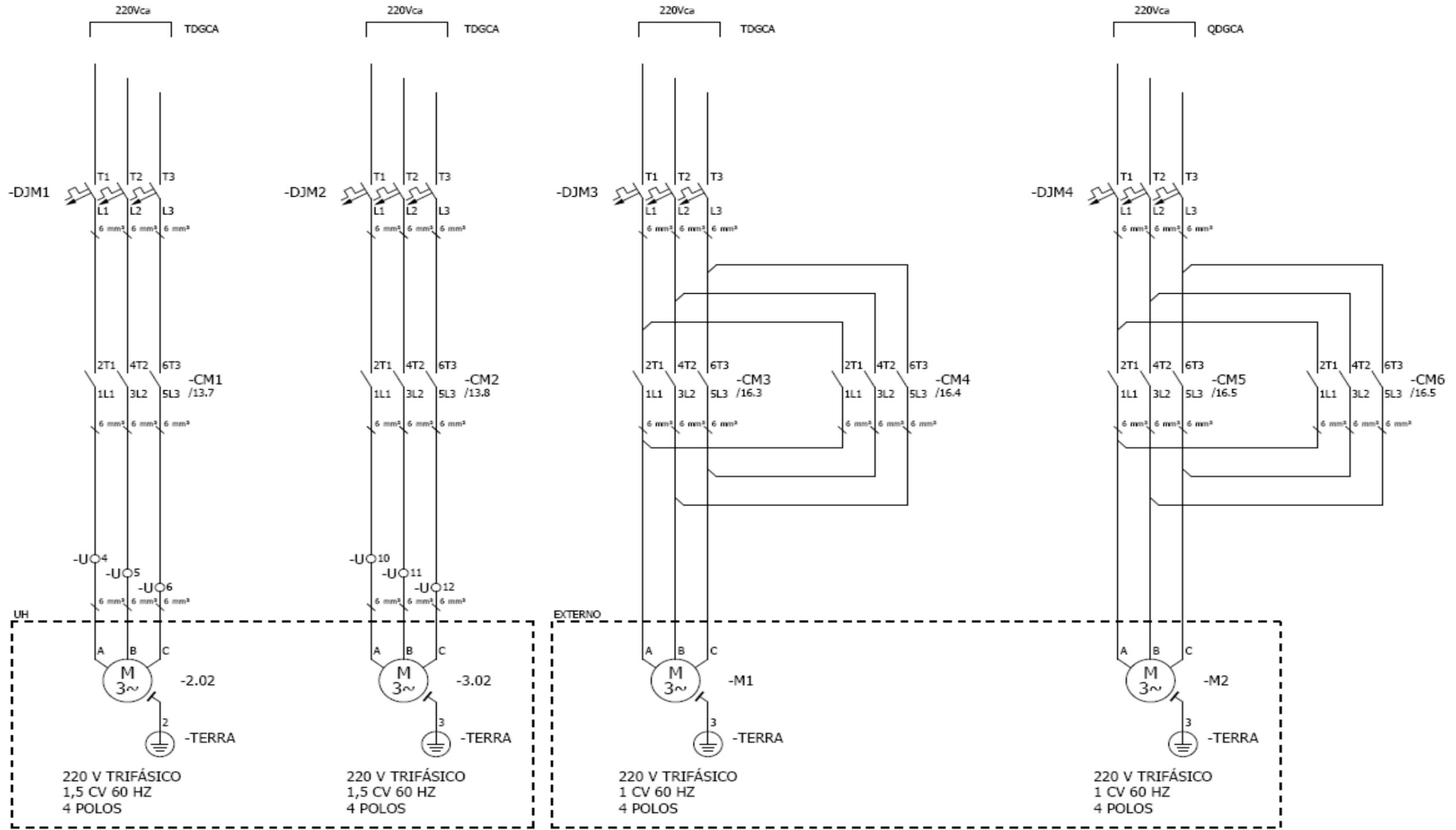
ALIMENTACIÓN DE LOS MOTORES DE LA UH

BOMBA 1 - PRESURIZACIÓN DE LA UH

BOMBA 2 - PRESURIZACIÓN DE LA UH

MOTOR DE ACCIONAMIENTO DE LA VALVULA BY PASS

MOTOR DE ACCIONAMIENTO DE LA VALVULA ADUCTORA



EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.		TAMAÑO	Nº DE FAX	TITULO	REV.
DIBUJADO	JORGE CARRERA O.			Alimentación motores auxiliares	
EMITIDO	EERSSA	ESCALA	SIN ESC	HOJA	11 DE 11

ANEXO 4

DIAGRAMA ESQUEMATICO UNIDAD HIDRAULICA PARA EL GRUPO NUMERO 2 CENTRAL CARLOS MORA CARRION

