

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**RENOVACIÓN Y PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO DE  
REGULADORES DE VELOCIDAD EN LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA HUINCO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**HEINZ RUBEN MONTALVÁN HERNÁNDEZ**

**PROMOCIÓN  
2002 - I**

**LIMA – PERÚ  
2014**

**RENOVACIÓN Y PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO DE REGULADORES DE  
VELOCIDAD EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE HUINCO**

### **DEDICATORIA:**

El presente Informe de Suficiencia, está dedicado a mi Madre Gertrudiz por su preocupación y motivación, a mi Esposa Lita, por la comprensión y confianza que deposita en mí. A mis dos hijos Leonel y Aaron que cambiaron y alegraron mi vida, y a mí Asesor por los sabios y prácticos consejos.

# INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>01</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>03</b>
<b>ANTIGUO SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUINCO</b>	<b>03</b>
1.1 Antecedentes	03
1.2 Descripción técnica Central Huinco	04
1.2.1 Potencia	04
1.2.2 Características del equipo electromecánico	05
1.2.3 Transformadores de potencia	06
1.2.4 Líneas de transmisión	07
1.3 Regulador de velocidad de turbina hidráulica	08
1.3.1 Tipos de reguladores de velocidad	08
1.3.2 Características de los reguladores y tipos de acción de control	09
1.4 Reguladores de velocidad de la Central Huinco	11
1.4.1 Regulador Riva tipo EM-58 C.H. Huinco – unidad 1, 3 y 4	11
1.4.2 Regulador Hydrovevey tipo Mipreg 600 C.H. Huinco – unidad 2	14
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>17</b>
<b>MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD</b>	<b>17</b>
2.1 Importancia de la renovación del regulador de velocidad	17
2.2 Ventajas de la renovación del regulador de velocidad	19
2.2.1 Ventajas técnicas	19
2.2.2 Ventajas económicas	20
2.3 Equipamiento	22
2.4 Características eléctricas de control	23
2.5 Diagrama básico	24
2.6 Funcionalidades de componentes	25
2.7 Funcionalidades del sistema de regulación de velocidad	25

2.8	Características de desempeño	26
2.9	Interfaz externa	31
2.10	Interfaz interna	33
2.11	Alarmas y fallas	38
2.12	Software de diagnóstico	40
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>45</b>
<b>PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL NUEVO SISTEMA</b>		<b>45</b>
3.1	Descripción datos generales	45
3.2	Inspecciones y verificaciones iniciales	45
3.2.1	Inspección del equipo y de la instalación del mismo	46
3.2.2	Verificación de las conexiones eléctricas	46
3.2.3	Verificación de las alimentaciones	47
3.2.4	Verificación de comandos y estados recibidos (entradas digitales)	47
3.2.5	Verificación de comandos y estados enviados (salidas digitales)	48
3.3	Pruebas en agua muerta	48
3.3.1	Presurización del sistema de aceite	49
3.3.2	Instalación de los sensores	50
3.3.3	Medición de frecuencia por señal del TP	51
3.3.4	Movimiento de las agujas y deflector a través del control	51
3.3.5	Ajustes de transductores de posición de activadores (agujas y deflector)	52
3.3.6	Máxima velocidad de apertura y cierre del activador	53
3.3.7	Ajustes de las mallas de control del activador electro-hidráulico	53
3.3.8	Ajuste del control de salida	54
3.3.9	Ajuste de la malla de control de los activadores (agujas y deflector)	55
3.3.10	Partida y parada en agua muerta	57
3.4	Ensayos dinámicos en vacío	57
3.4.1	Giro mecánico	58
3.4.2	Partida gradual	59
3.4.3	Partida limitada – determinación de los límites de partida 1 y partida 2	59
3.4.4	Medición de la velocidad / frecuencia (pickup y TP)	61
3.4.5	Partida automática	62
3.4.6	Ajuste de la malla de control de velocidad	63
3.4.7	Parada normal	66

3.4.8	Ajuste del dispositivo de sobrevelocidad mecánico	66
3.4.9	Verificación de las redundancias existentes en el sistema de regulación	67
3.4.10	Verificación de la doble alimentación del sistema de regulación	68
3.4.11	Ensayo de estabilidad en régimen de regulación en vacío	69
3.5	Ensayos con carga	69
3.5.1	Ajustes en la transducción de potencia	69
3.5.2	Ajustes de la dinámica de la malla de potencia	70
3.5.3	Estabilidad de unidad generadora en carga	73
3.5.4	Ensayos de desconexión de unidad generadora	73
	<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>75</b>
	<b>RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO</b>	<b>75</b>
4.1	Datos generales	75
4.2	Inspección y verificaciones iniciales	76
4.2.1	Inspección del equipo y de la instalación del mismo	76
4.2.2	Verificación de las conexiones eléctricas	76
4.2.3	Verificación de las alimentaciones	77
4.2.4	Mandos y estados recibidos – entradas digitales	79
4.2.5	Mandos y estados enviados – salidas digitales	81
4.3	Pruebas en agua muerta	81
4.3.1	Pruebas de los auxiliares hidráulicos	81
4.3.2	Ajustes de las mallas de control del actuador electro-hidráulico	82
4.4	Ensayos dinámicos en vacío	85
4.4.1	Arranque automático	85
4.4.2	Ajuste de las mallas de regulación de velocidad – escalón en la referencia	86
4.4.3	Máquina en régimen – estabilidad del control en vacío	87
4.4.4	Verificación de redundancias del regulador	89
4.4.5	Conmutación de canales frecuencia – TP y pickup	89
4.5	Ensayos con carga	90
4.5.1	Ajustes de la malla de potencia	90
4.5.2	Máquina en régimen – estabilidad del control en carga con todas las funciones habilitadas	91
4.5.3	Desconexiones de la unidad generadora	92
4.5.4	Tablas de parámetros	93

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	100
<b>ANEXOS</b>	102
ANEXO A Cálculo de VAN y TIR	103
ANEXO B Protocolo de pruebas y puesta en servicio	105
ANEXO C Glosario de términos	107
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	109

## FIGURAS

Figura 1.1: Disposición de centrales hidroeléctricas y lagunas	04
Figura 1.2: Casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Huinco	05
Figura 1.3: Diagrama unifilar de la Central Huinco	07
Figura 1.4: Curva de un regulador de velocidad para un grado de estatismo de 3 %	10
Figura 1.5: Zona de indecisión por la sensibilidad del regulador	10
Figura 1.6: Panel frontal del regulador RIVA EM-58	13
Figura 1.7: Diagrama de bloques del regulador RIVA EM-58	13
Figura 1.8: Grado de estatismo de regulación en %	14
Figura 1.9: Diagrama de bloques del regulador de velocidad MIPREG 600	16
Figura 2.1: Esquema eléctrico básico del sistema de regulación de velocidad REIVAX	24
Figura 2.2: SEC Sistema de Edición de Configuración	40
Figura 2.3: Registro interno	41
Figura 2.4: Visualización en tiempo real	42
Figura 2.5: Visualización continua de señales	43
Figura 3.1: Malla de control de los activadores	54
Figura 3.2: Parámetros de la malla de control de los activadores	55
Figura 3.3: Partida automática	60
Figura 3.4: Malla de control de velocidad	65
Figura 3.5: Malla de control de velocidad/ potencia	71
Figura 3.6: Diagrama de desconexión de la unidad generadora	74
Figura 4.1: Apertura en máxima velocidad del deflector	82
Figura 4.2: Apertura en máxima velocidad de la aguja derecha	82
Figura 4.3: Apertura en máxima velocidad de la aguja izquierda	83
Figura 4.4: Dinámica del deflector – Aplicación de escalón	83
Figura 4.5: Dinámica de la aguja derecha – Aplicación de escalón	84
Figura 4.6: Dinámica de la aguja derecha – Aplicación de escalón	84
Figura 4.7: Arranque automático	85
Figura 4.8: Respuesta de deflector y agujas	86
Figura 4.9: Estabilidad de posición de deflector y agujas	87

Figura 4.10: Estabilidad de posición de aguja derecha e izquierda	88
Figura 4.11: Respuesta de frecuencia por conmutación de TP a Pickup	89
Figura 4.12: Dinámica del control de potencia – Respuesta al escalón	90
Figura 4.13: Respuesta del regulador ante variación real de frecuencia	91
Figura 4.14: Desconexión de unidad– Carga 25%	92
Figura 4.15: Desconexión de unidad– Carga 100%	92

## TABLAS

Tabla N° 1.1: Potencia de cada unidad generadora	04
Tabla N° 1.2: Características del motor primo	06
Tabla N° 2.1: Costo anual de mantenimiento	20
Tabla N° 2.2: Costo de energía vendida	21
Tabla N° 2.3: Costo de energía que se deja de vender	21
Tabla N° 3.1: Parámetros de control de la salida	55
Tabla N° 3.2: Parámetros de la malla de control de activadores	55
Tabla N° 3.3: Rangos de valores típicos de malla de control velocidad	65
Tabla N° 3.4: Rangos de valores típicos de malla de control potencia	72
Tabla N° 4.1 Inspección de las partes externas e internas	76
Tabla N° 4.2 Verificación de las conexiones eléctricas	76
Tabla N° 4.3 Alimentación panel – VCC	77
Tabla N° 4.4 Alimentación panel – VCA	77
Tabla N° 4.5 Alimentación de las válvulas	78
Tabla N° 4.6 Alimentación PUH – VCC	78
Tabla N° 4.7 Alimentación bomba VCA	79
Tabla N° 4.8 Verificación de entradas digitales	80
Tabla N° 4.9 Verificación de salidas digitales	81
Tabla N° 4.10 Pruebas a los auxiliares hidráulicos	81
Tabla N° 4.11 Verificación de las redundancias	89
Tabla N° 4.12 Parámetros de control de la aguja derecha	93
Tabla N° 4.13 Parámetros de control de la aguja izquierda	93
Tabla N° 4.14 Parámetros de control del deflector	94
Tabla N° 4.15 Parámetros de la malla de control de velocidad	94
Tabla N° 4.16 Parámetros de la malla de control de potencia	94
Tabla N° 4.17 Parámetros de la curva apertura versus potencia	95
Tabla N° 4.18 Parámetros de señales en registro y gatillo	95
Tabla N° 4.19 Parámetros de ajustes de las referencias RV	95

Tabla N° 4.20 Parámetros de ajuste de la lógica RV	96
Tabla N° 4.21 Parámetros de ajustes de la transducción – RV	96
Tabla N° 4.22 Parámetros de ajuste de relé – RV	98
Tabla N° 4.23 Parámetros de ajustes de falla – RV	98

## **SUMARIO**

El presente informe de Suficiencia trata sobre la renovación y pruebas de puesta en servicio de Reguladores de Velocidad en la Central Hidroeléctrica de Huinco.

El Regulador de Velocidad es un componente fundamental para el funcionamiento de la unidad generadora. Cuando la unidad generadora está desconectado de la red, la función del regulador de velocidad es mantener la velocidad constante para permitir la sincronización del generador a la red. Cuando el generador está acoplado a la red, su misión es contribuir a la regulación frecuencia-potencia del sistema eléctrico.

El presente informe consta de cuatro capítulos, el alcance se indica a continuación.

El primer capítulo describe a la Central Hidroeléctrica Huinco, se describe los reguladores de velocidad en general y las características del regulador de velocidad antiguo que operaba antes de la renovación.

El segundo capítulo está referido a la importancia, ventajas técnicas - económicas, y justificación de la renovación de reguladores de velocidad, además se describe las características del regulador de velocidad digital nuevo.

El tercer capítulo describe los objetivos y procedimientos de las pruebas de puesta en servicio realizadas al regulador de velocidad digital nuevo, para su correcta operación.

El cuarto capítulo muestra los resultados de las pruebas de puesta en servicio que se ejecutaron para poner en servicio el nuevo regulador de velocidad digital.

Finalmente se mencionan las conclusiones y recomendaciones que surgen del presente informe de suficiencia.

## INTRODUCCIÓN

EDEGEL es una empresa de generación eléctrica, que planifica inversiones para mejorar la confiabilidad de operación de las instalaciones y equipos críticos de las Centrales Hidroeléctricas, como es el caso de la Central Huinco, que en el año 1965 inició su operación en el sistema eléctrico peruano.

En ese sentido, antes del año 2012, la Central Huinco contaba con un regulador de velocidad electromagnético RIVA EM-58 en los grupos 1, 3 y 4, y para el grupo 2 poseía un regulador de velocidad electrónico digital HIDROVEVEY MIPREG 600. En ese sentido, el equipamiento del sistema de regulación de velocidad de los grupos tenía mucho años de servicio, en algunos casos operaba desde la puesta en servicio de la central.

Siendo la regulación de velocidad de los grupos de generación una parte importante en el proceso de generación de energía eléctrica, ya que el arranque y la parada de los grupos depende del sistema de regulación de velocidad. Asimismo, una vez que el grupo se encuentra interconectado al sistema eléctrico, el regulador de velocidad regula la potencia activa solicitada por el sistema, tanto en estado estacionario como frente a determinados eventos que comprometan la estabilidad de la frecuencia.

Dada la importancia del regulador de velocidad, se realizó un proceso de evaluación de cambio, se elaboraron los requerimientos técnicos de un nuevo regulador de velocidad moderno para renovar el existente, se adquirió e instaló y se realizaron pruebas de puesta en servicio. En ese sentido, se propuso reemplazar los 4 reguladores de velocidad por otros de tecnología digital que usan microprocesadores con una programación lógica que permite tener otras funcionalidades como mejor tiempo de respuesta, mayor precisión de las medidas, monitoreo de los parámetros de las unidades generadoras tales como registros, tendencias, gráficas, etc.

En el año 2012 se concluyó la puesta en servicio de los cuatro nuevos reguladores de velocidad de la Central Hidroeléctrica de Huinco, se hicieron modificaciones en el funcionamiento de la unidad hidráulica y se instalaron nuevos componentes electrónicos y digitales para el control de los mencionados reguladores de velocidad.

A la fecha estos nuevos reguladores de velocidad viene operando con buena performance dando mayor versatilidad y seguridad al personal de operación y a las instalaciones involucradas como son las unidades de generación, elemento principal de una Central de Hidroeléctrica,

Con esta modernización se logró actualizar la tecnología del equipamiento necesario para cumplir las funciones requeridas de generación, mejorando la operación de los grupos generadores con un mejor control de la regulación de velocidad y regulación de potencia activa generada.

También se puede mencionar que como este proceso de renovación de reguladores de velocidad fue similar en cada unidad de generación, se puede aplicar a cualquier tipo de central de generación hidroeléctrica se similares características.

El presente informe se refiere a la descripción del proceso de evaluación técnico-económica de uno de los reguladores de velocidad, sus características, ventajas y desventajas, así como las pruebas de puesta en servicio para su operación confiable en la Central Hidroeléctrica Huinco.

## **CAPÍTULO I**

### **ANTIGUO SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUINCO**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Entre los años 50 y 70 la demanda de energía eléctrica en la ciudad de Lima era cada vez mayor, haciendo una curva de crecimiento de carga progresivo más empinada año tras año y por consiguiente se produce la construcción de nuevas Centrales eléctricas, capaces de cubrir la demanda.

Es así que la Central Hidroeléctrica de Huinco se pone en servicio y entra en operación comercial en el año 1965, sus cuatro unidades de generación entraron en operación con los reguladores de velocidad electromagnéticos RIVA CALZONI EM-58.

La empresa de generación Eléctrica de Lima (EDEGEL), es propietaria de la Central Hidroeléctrica de Huinco, que comprende a un conjunto de instalaciones ubicadas en la localidad de Huinco. Distrito de San Pedro de Casta Huarochiri, Provincia de Lima, Departamento de Lima, Km 27 carretera a Sheque.

Luego de aproximadamente 40 años la empresa EDEGEL decide ejecutar la inversión de renovar progresivamente los reguladores de velocidad electromagnéticos por reguladores de velocidad modernos digitales.

## 1.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA CENTRAL HUINCO

La Central Hidroeléctrica de Huinco se encuentra ubicada en el pueblo de Huinco a 63,5 Km. de Lima, en el distrito de San Pedro de Casta, provincia de Huarochirí. En la Fig. 1.1 se observa la disposición de las centrales hidroeléctricas y lagunas de EDEGEL.

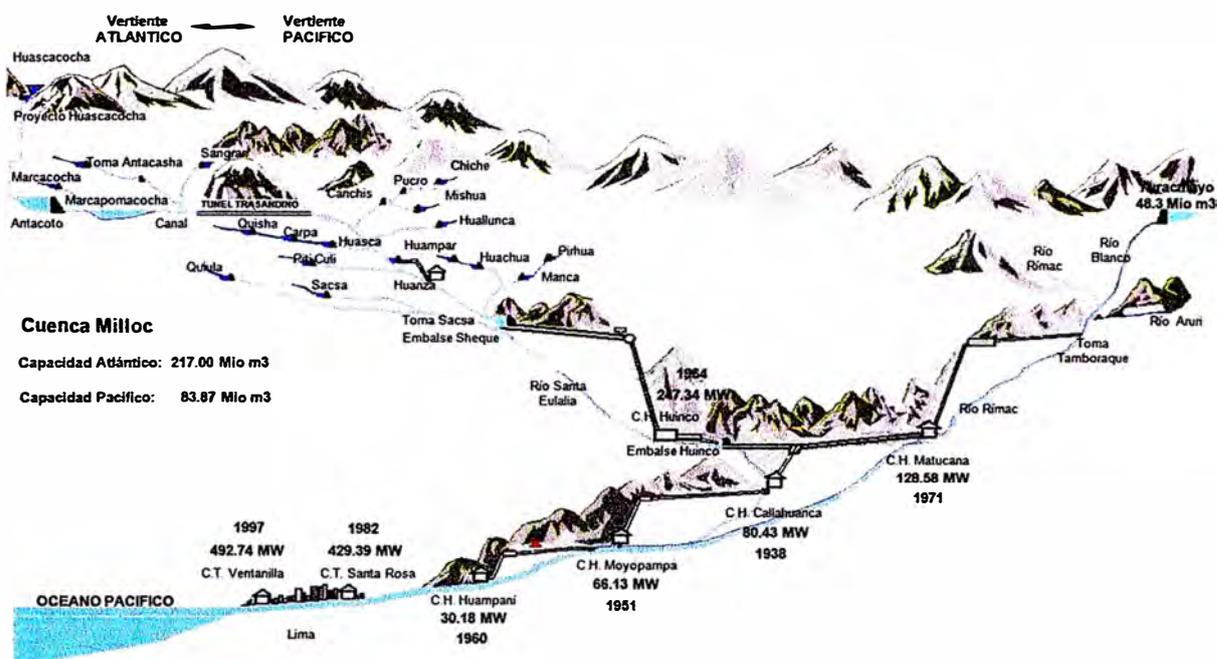


Fig.1.1 Disposición de centrales hidroeléctricas y lagunas.

### 1.2.1 POTENCIA

La Central Hidroeléctrica de Huinco tiene cuatro unidades generadoras cuyas potencias se indican en la tabla N° 1.1.

TABLA N° 1.1 Potencia de cada unidad generadora

UNIDAD N°	POTENCIA (MW) INSTALADA	POTENCIA (MW) GARANTIZADA
1	64,6	63
2	64,6	63
3	64,6	63
4	64,6	63
TOTAL	258,4	249 (*)

(\*) Potencia actual máxima garantizada con los 4 grupos en servicio.

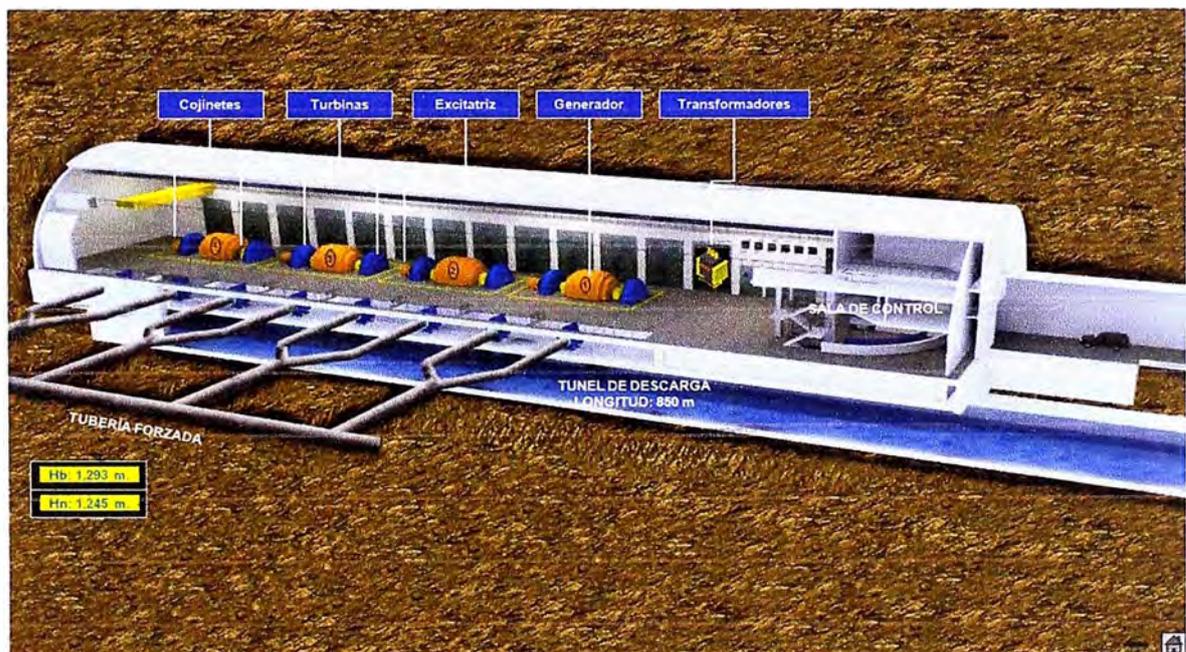
## 1.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

### DATOS PRINCIPALES DE SALTO HIDRÁULICO

Caudal máximo utilizable ( $\text{m}^3/\text{seg.}$ )	25
Producción específica ( $\text{KWh}/\text{m}^3$ )	2,85
Caída bruta (m.)	1 292,58
Salto útil (m.)	1 245,00

### CONFIGURACIÓN DE LAS UNIDADES GENERADORAS

La planta tiene cuatro grupos generadores con eje horizontal, cada grupo tiene dos rodetes pelton con un inyector en cada rodete, en el centro del eje está montado el alternador. En la Fig.1.2 se observa la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Huinco.



**Fig.1.2** Casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Huinco

## MOTOR PRIMO (TURBINA PELTON)

Las características del motor primo se indican en la tabla N° 1.2

**TABLA N° 1.2** Características del motor primo

	GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	GRUPO IV
FABRICANTE	RIVA CALZONI	RIVA CALZONI	RIVA CALZONI	RIVA CALZONI
NÚMERO DE SERIE	A : 4536 B : 4537	A : 4538 B : 4539	A : 4585 B : 4586	A ; 4588 B : 4587
AÑO PUESTA SERVICIO	1 964	1 965	1 965	1 966
POTENCIA POR RODETE (HP)	45 980 (2)	45 980 (2)	45 980 (2)	45 980 (2)
VELOCIDAD RPM	514	514	514	514
CAUDAL POR GRUPO	6,25 m <sup>3</sup> /seg			

## GENERADOR

Cada unidad tiene las siguientes características :

Fabricante	BROWN BOVERI
Potencia aparente	85 000 KVA
Factor de potencia	0,76
Potencia nominal	64 600 KW
Tensión nominal	12 500 KV
Intensidad	3 930 Amperes
Frecuencia	60 HZ
Velocidad	514 RPM
Refrigeración bobinado	Transferencia AGUA vs AIRE
Refrigeración cojinetes	Transferencia AGUA vs ACEITE

## SISTEMA DE EXCITACIÓN

Excitatrices	Rotativa
Auxiliar-principal	Autoexcitación

### 1.2.3 TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Cada grupo generador tiene un banco de transformación de tensión conformado por tres unidades monofásicas; además de una unidad de reserva.

De los 13 polos o unidades, 6 son de fabricación Brown Boveri y 7 de Compagnia Generale Di Electricita.

Las características principales de estas unidades son:

Potencia	:	28 333	KVA
Tensiones	:	12,5/235,6	KVA
Tipo conexión	:	Yd 11	
Enfriamiento	:	Transferencia: AGUA - ACEITE	

#### 1.2.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

N° de líneas	:	2
Tipo del conductor	:	ALDREY
Corriente máxima	:	1 000 A
Longitud	:	62 Km.
Tensión nominal	:	220 KV.
Sección	:	491 mm <sup>2</sup>

En la Fig.1.3 se observa el diagrama unifilar de la Central Hidroeléctrica Huinco [8]

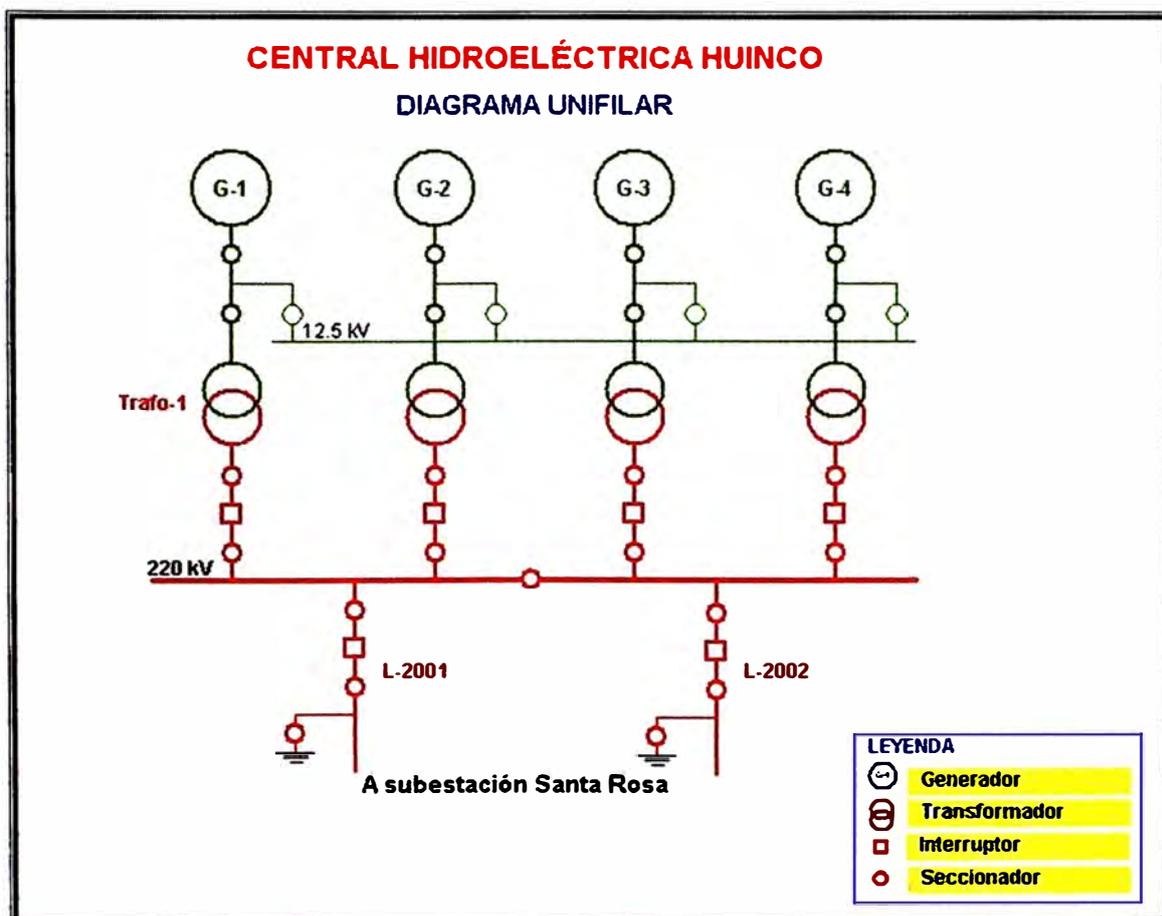


Fig.1.3 Diagrama unifilar de la Central Huinco

### 1.3 REGULADOR DE VELOCIDAD DE TURBINA HIDRÁULICA

El regulador de velocidad de una turbina hidráulica es un regulador automático de velocidad, que está diseñado para que responda a las variaciones del número de revoluciones de la turbina y para que efectúe una corrección de manera estable después de cambio de carga [6].

Cuando se produce una variación de carga en una máquina motriz se modifica también el par resistente (carga del alternador) de dicha máquina, entonces la velocidad variará también y esta variación será inversamente proporcional al par resistente.

- Si aumenta el par resistente, disminuye la velocidad.
- Si disminuye el par resistente, aumenta la velocidad.
- Si el par motor es igual al par resistente, es constante la velocidad. Lo cual quiere decir que el funcionamiento de una turbina hidráulica sería inestable ya que con poca carga tendría tendencia a embalsarse y con mucha carga la tendencia sería a pararse

Simultáneamente los reguladores de velocidad de las turbinas están equipados con sistemas de seguridad para la protección de la turbina.

#### 1.3.1 TIPOS DE REGULADORES DE VELOCIDAD

- Reguladores con péndulo centrífugo.
- Reguladores mecánicos acelerotaquimétricos.
- Reguladores electromecánicos.
- Reguladores eléctricos.
- Reguladores electromagnéticos.
- Reguladores electrónicos analógicos.
- Reguladores electrónicos digitales.
- Reguladores de acción directa
- Reguladores de acción indirecta
- Reguladores estáticos
- Reguladores estáticos

### 1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS REGULADORES Y TIPOS DE ACCIÓN DE CONTROL

#### ESTATISMO PERMANENTE

El elemento fundamental que define la característica de un regulador de velocidad es el estatismo y es aquella gráfica que expresa la relación existente entre la velocidad de régimen de la máquina y la apertura del distribuidor. Por otra parte la turbina trabaja con distinta velocidad, según funcione en vacío o a plena carga. Si estos valores son respectivamente  $N_v$  y  $N_c$ , se llama grado de estatismo del sistema regulador a la relación:

$$\delta (\%) = \frac{(N_v - N_c)}{(N_v + N_c) / 2} 100 \quad (1.1)$$

En la práctica aparecen no linealidades en el regulador, en las servo-válvulas por lo tanto la característica estática potencia frecuencia resulta una curva no lineal y tenemos el estatismo permanente efectivo en la banda de regulación.

#### ESTATISMO DE LAS CENTRALES HIDRÁULICAS DE EDEGEL

Central Huinco	Grupos 1 y 3	:	1.05%
	Grupos 2 y 4	:	1,5%
Central Matucana	Central	:	2.8 %
Central Callahuanca	Central	:	3.0 %
Central Moyopampa	Grupos 1, 2 y 3	:	4 / 4.5 / 5.0%
Central Huampaní	Central	:	3.0 %

La Central Huinco es la que tiene menor estatismo por ser una Central de regulación de frecuencia y la de mayor estatismo es la Central Moyopampa por ser una central de base, en la Fig.1.4 se muestra la curva de un regulador de velocidad.

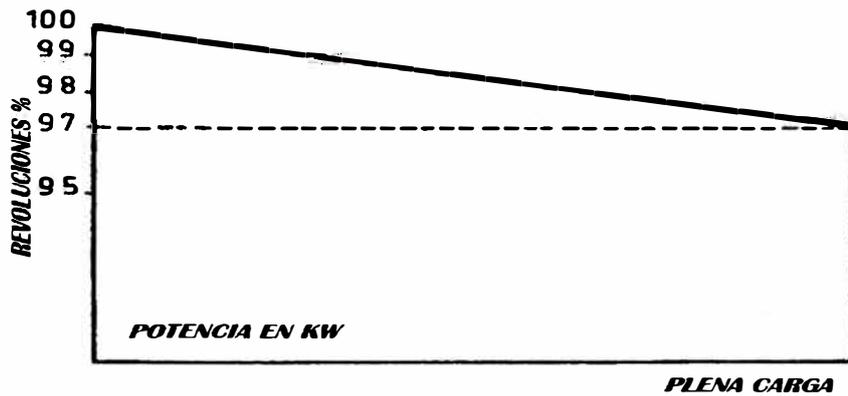


Fig.1.4 Curva de un regulador de velocidad para un grado de estatismo de 3 %

### **BANDA MUERTA**

Es la zona de insensibilidad para valores muy cercanos a la frecuencia nominal del sistema. Se establece una banda muerta de frecuencia menor que 0,1 % (0,06 Hz). Si el regulador está en equilibrio y varia la velocidad de la máquina, el regulador no entra en acción inmediatamente, es decir, no basta con una pequeña variación de velocidad para poner el regulador en movimiento.

Frecuentemente aparecen bandas muertas por desgaste de partes mecánicas del regulador y las servoválvulas, en la Fig.1.5 se muestra la zona de banda muerta.

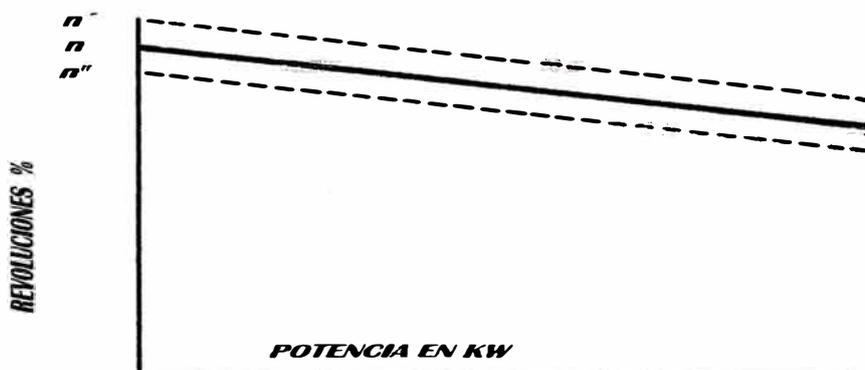


Fig.1.5 Zona de indecisión por la sensibilidad del regulador

### **PRONTITUD**

Es el tiempo que demora el regulador en hacer efectiva una acción correctiva cuando se produce una variación unitaria de la velocidad de régimen.

## ESTABILIDAD

Es la cualidad por la cual el regulador amortigua las oscilaciones producidas para cualquier variación de las condiciones de regulación.

### 1.4 REGULADORES DE VELOCIDAD DE LA CENTRAL HUINCO

#### 1.4.1 REGULADOR RIVA TIPO EM-58 C. H. HUINCO – UNIDAD 1, 3 Y 4

Antes de la renovación, las unidades generadoras 1, 3 y 4 contaban con los reguladores de velocidad que operaban desde la puesta en servicio de la Central Huinco, las características son las siguientes:

Tipo	:	Eléctrico
Fabricante	:	RIVA CALZONI
Año de fabricación	:	1961
Tipo de regulador	:	EM-58
Tipo de regulación	:	Acelerotaquimétrico
Tipo de acción de control	:	PD
Margen de calibración del	:	+/- 2 %
Señal del sensor	:	Alternador piloto (1500 W)
Carrera del servomotor principal	:	256 mm
Diámetro del Pistón	:	380/270 mm
Tiempo de cierre inyectores	:	90 seg
Tiempo de abertura inyectores	:	35 seg
Sensibilidad	:	1 / 10 000
Rango de ajuste de estatismo	:	0 a 6 %
Acción del variador de velocidad	:	- 4 a + 6 %
Acción del limitador de abertura	:	0 a 100 %
Frecuencia de referencia	:	60 Hz
Velocidad nominal del grupo	:	514 RPM
Órgano de regulación	:	Deflectores
Regulación doble	:	Inyectores
Presión de trabajo	:	18 bar
Factor de inercia del alternador	:	514 Tn-m <sup>2</sup>

El regulador de turbina EM-58 es un regulador electro hidráulico con amplificadores magnéticos cuyo proyecto se remonta al año 1958. Controla directamente la última

etapa del circuito oleo-dinámico de fuerza sobre el transductor electro-mecánico, que constituye el órgano de salida del regulador.

El transductor electromecánico está montado sobre el soporte de la unidad óleo-mecánica de fuerza actuando directamente sobre la válvula principal de distribución del aceite en presión y el servomotor principal de accionamiento de los deflectores de las turbinas, el cual controla indirectamente los inyectores a través de un sistema servo hidráulico mecánico.

El transductor electromecánico además está integrado por el mecanismo de retroceso electromagnético de reacción y el socorredor óleo dinámico.

El reconocimiento, elaboración y ajustes de todos los parámetros que interesan en la regulación y la estabilización se efectúa eléctricamente. Estos parámetros son funciones específicas del regulador eléctrico.

Durante el funcionamiento normal, la alimentación y la señal de velocidad del regulador es proporcionada exclusivamente del pequeño alternador a campo giratorio permanente de 1500 W (excluido del regulador).

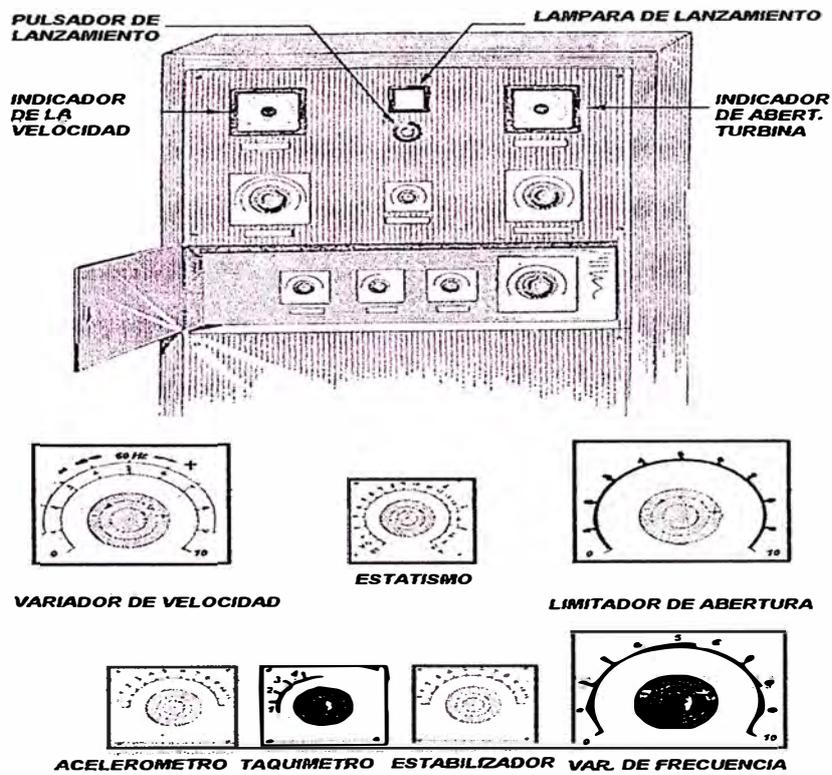
Una derivación en corriente alterna desde los servicios auxiliares de la central es necesaria sólo para la operación de lanzamiento.

## **DIAGRAMA DE BLOQUES DEL REGULADOR RIVA EM-58**

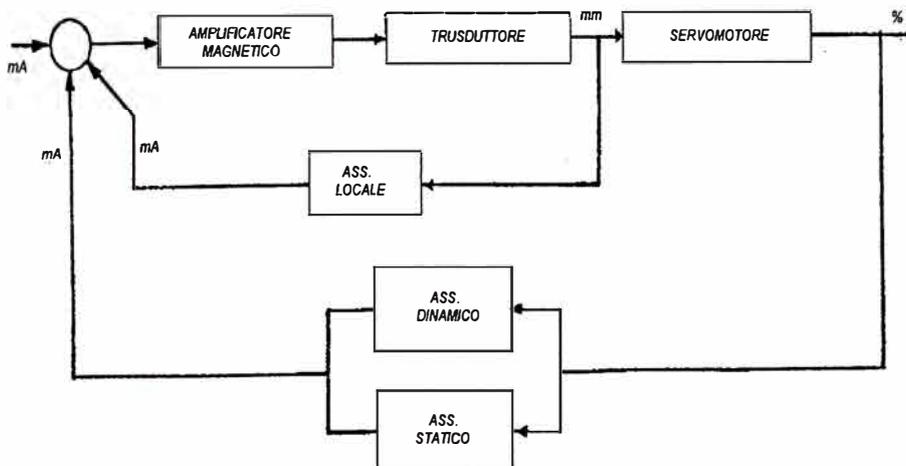
Sobre el panel frontal del tablero se tienen instalado los mandos de ajuste con indicación visual

- Variador de velocidad
- Limitador de abertura
- Variador de frecuencia
- Constante taquimétrica
- Grado de estabilización acelerométrica
- Grado de estatismo
- Grado de estabilización dinámica

En la Fig.1.6 se puede observar el panel frontal del regulador RIVA EM-58 instalado en las unidades generadoras 1, 3 y 4 y en la Fig.1.7 se muestra su diagrama de bloques.



**Fig.1.6** Panel frontal del regulador RIVA EM-58



**Fig.1.7** Diagrama de bloques del regulador RIVA EM-58

### DIAGRAMA DE ESTADISMO REGULADOR RIVA EM-58

En función de la posición del indicador de referencia de mando estatismo para los cuatro ajustes de la constante taquimétrica. En la Fig.1.8 se muestra el grado de estatismo de regulación en porcentaje en función de la posición del indicador de mando estatismo para los cuatro ajustes de la constante taquimétrica.

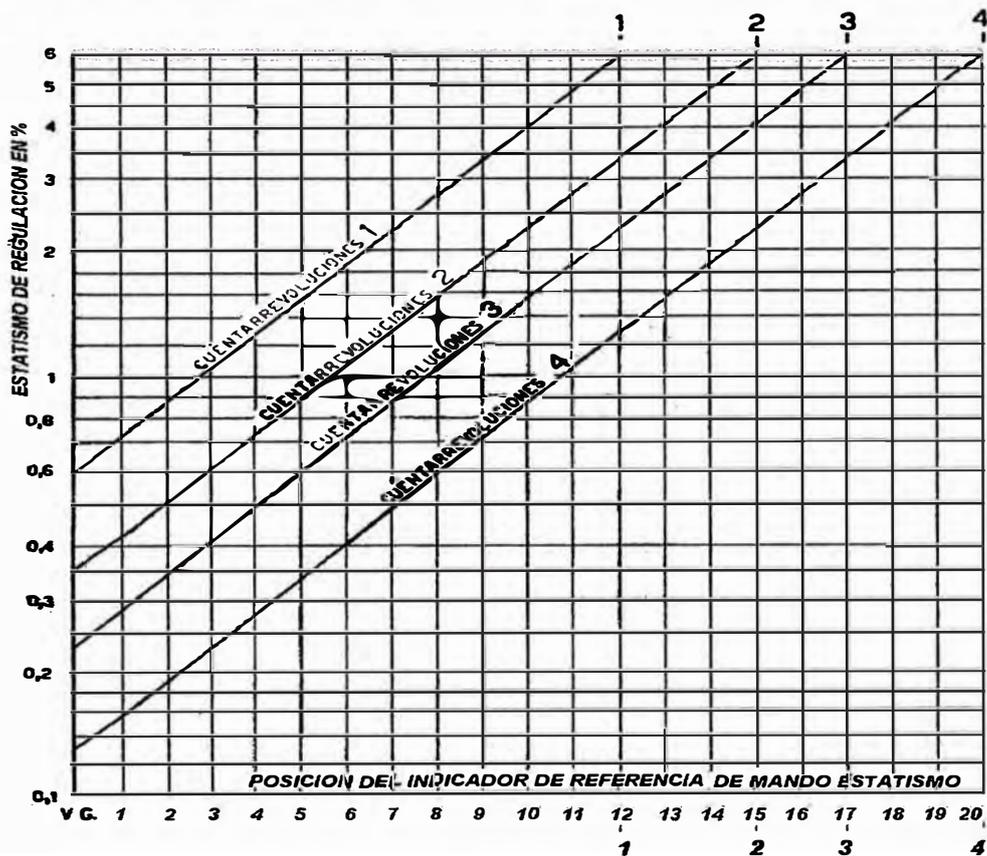


Fig.1.8 Grado de estatismo de regulación en %

#### 1.4.2 REGULADOR HYDROVEVEY TIPO MIPREG 600 C.H. HUINCO – UNIDAD 2

En 1995 en la unidad 2 se reemplaza el regulador eléctrico EM 58 por el regulador electrónico Mipreg 600, que incluyó además la renovación del actuador electrohidráulico, la válvula distribuidora principal y el mecanismo de retroceso eléctrico, manteniéndose los elementos restantes del sistema oleohidráulico original.

Las características son las siguientes:

**MICROPROCESADOR:**

Reúne la unidad central y la unidad de cálculo del sistema. Governa la utilización de los demás circuitos en función del desarrollo del programa.

**PROGRAMA:**

Contiene toda una serie de instrucciones que deberá seguir el microprocesador y por consiguiente el esquema de principio de regulación.

**MEMORIAS:**

Los diferentes parámetros y ajustes se memorizan de manera permanente, incluso en caso de corte de corriente.

**ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES:**

Elas permiten transmitir todas las órdenes al microprocesador, órdenes de las consignas, mandos exteriores, etc.

**CONTADOR PROGRAMABLE:**

Se hace cargo de la adquisición de la velocidad. Efectúa una medición digital del período de las señales provenientes del remanente del alternador.

**CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL:**

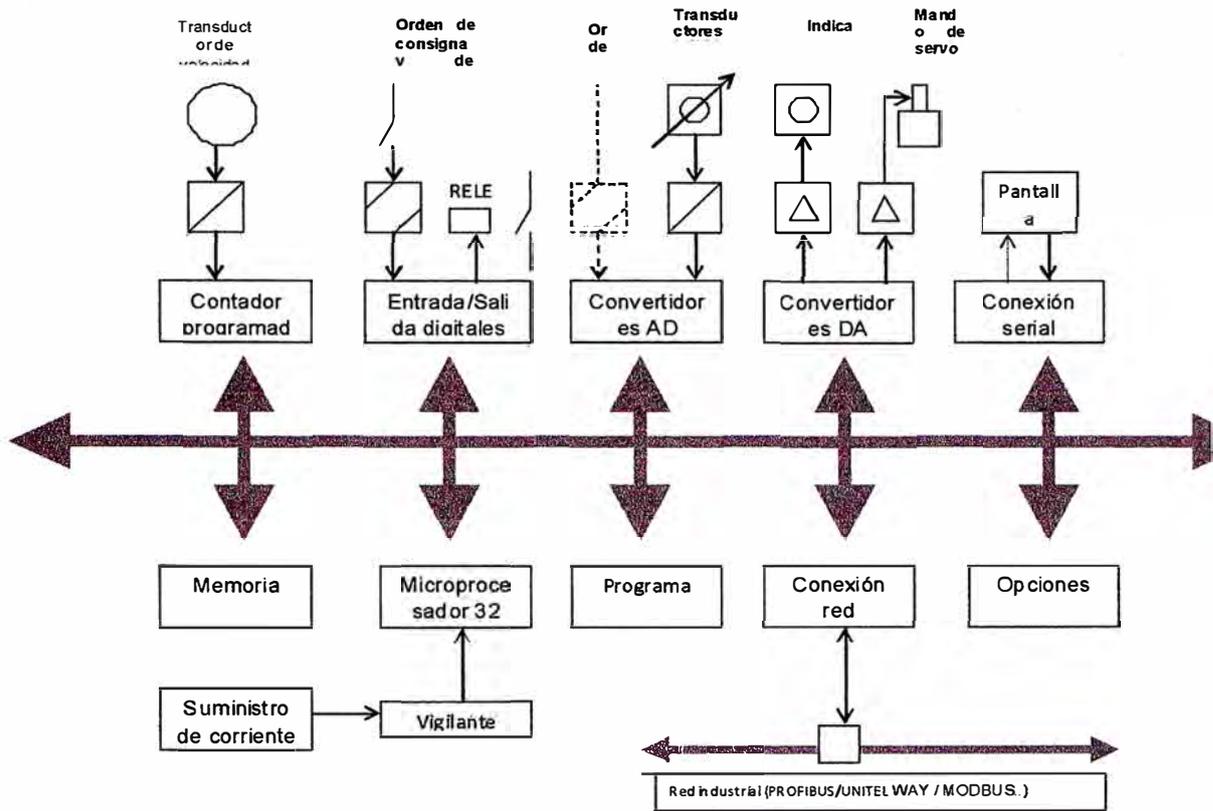
Permite efectuar la adquisición de señales analógicas, como posiciones de órganos de ajuste, potencia, orden exterior, etc.

**CONVERTIDOR DIGITAL ANALÓGICO:**

Permite transformar los valores numéricos calculados por el microprocesador en señales analógicas, con mandos de servoválvulas, indicadores, etc.

**DIAGRAMA DE BLOQUES DEL REGULADOR DE VELOCIDAD MIPREG 600**

En la Fig.1.9 se muestra el diagrama de bloques del regulador de velocidad MIPREG 600



**Fig.1.9** Diagrama de bloques del regulador de velocidad MIPREG 600

## **CAPÍTULO II**

### **MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD**

#### **2.1 IMPORTANCIA DE LA RENOVACIÓN DEL REGULADOR DE VELOCIDAD**

Actualmente las nuevas tecnologías han abierto una serie de opciones aplicables a distintos tipos de procesos, esto hace que el área responsable de la instalación pueda elegir en forma particular cual es la mejor opción para su proceso, teniendo en cuenta principalmente los aspectos técnicos, económicos y la experiencia. Es por ello que para renovar el regulador de velocidad se consideraron los siguientes aspectos:

- **Confiabilidad del sistema de regulación de velocidad:**

Componentes del regulador de velocidad sin repuestos por ser obsoletos, esto debido a la antigüedad de los reguladores, desviación de error alta tal que dan falsas lecturas de medida, frecuentes fallas por desgaste de componentes.

Aumento de horas hombre para la revisión y reparación de los equipos fallados es decir elevación de costos, incremento de frecuencia de intervenciones de mantenimiento.

Respecto al mantenimiento, era frecuente que en el entrehierro de la bobina móvil del transductor electromecánico (actuador) se acumulen impurezas provenientes de la circulación del aceite disminuyendo la sensibilidad del regulador.

Además de tratarse de una tecnología antigua, que hoy en día ya no se utiliza, y puede, en consecuencia, traer consigo serios problemas de mantenimiento, sus conceptos funcionales provienen de una antigua concepción de la regulación de frecuencia que puede resultar inadecuada para las exigencias de regulación de frecuencia de una red moderna.

- **Mejorar la supervisión del proceso:**

La tecnología actual permite al operador monitorear todas las variables de proceso a través de una estación de supervisión, siempre que estén conectados a un PLC, estas variables pueden ser tipo digital o analógica, mediante un programa de supervisión el operador tendrá disponibles datos en tiempo real y datos históricos para mantener controlado o tomar acción sobre su regulador de velocidad en caso se requiera. Toda la data estará disponible en la estación de supervisión de tal forma que el operador ya no tendrá que desplazarse a tomar datos puntuales localmente.
- **Necesidad de nuevas prestaciones:**

Mejor respuesta del control de la velocidad con mejor precisión y exactitud, lecturas de medida remotas, registro de valores de lectura importantes para el proceso (análisis de tendencias), configuración de alarmas, información de otras medidas relevantes para operaciones, mantenimiento y administración (programas o software de aplicaciones)

Capacidad de integración a sistemas automatizados a través de protocolos de comunicación.

En lo que a la parte operativa se refiere, con el regulador EM-58 es prácticamente imposible manejar en modo automático la función de regulación secundaria de frecuencia, como tampoco es posible la repartición automática de carga entre los grupos.

Actualmente la regulación secundaria se realiza mediante un variador centralizado de carga que es accionado manualmente por el operador.
- **Normalizar los procedimientos de operación y mantenimiento de las centrales hidráulicas, según estándares del sistema de gestión integrado ISO 9001.**

Operación: Reportes técnicos, control de anormalidades, análisis de falla, etc.

Mantenimiento: Verificación de medidas, repuestos, soporte técnico, etc.

## **2.2 VENTAJAS DE LA RENOVACIÓN DEL REGULADOR DE VELOCIDAD**

La renovación del regulador de velocidad, trae consigo una serie de ventajas técnicas y económicas, que a continuación se mencionan:

### **2.2.1 VENTAJAS TÉCNICAS**

Al tratarse de un regulador de velocidad de tecnología digital, las mayores ventajas se presentan en la parte del control:

- Cambios de leyes de control sin cambio de HW.
- Ajustes estables, independientes del ambiente.
- Posibilidad de leyes de control mucho más complejas.
- Facilidad de simulación.
- Help on line.
- Generación de gráficos tiempo real.
- Contraseñas jerarquizadas.
- Generación de eventos.
- Generación de registros con triggers.
- Programables.
- Auto-documentación.
- Forzamiento de variables.
- Inspección de variables (Instrumentación virtual).
- Facilidad de implementación de automatismos.
- Update & Upgrade mucho más sencillos.
- Comunicación en red.
- Posibilidad de instrumentación de campo inteligente.
- Auto-diagnóstico.
- Posibilidad de acceso remoto.
- Futura independización del HW.
- IHM que posibilita operación y ajustes.

## 2.2.2 VENTAJAS ECONÓMICAS

Para visualizar las ventajas económicas, se calculo el VAN y el TIR de la inversión, para lo cual se tuvo en cuenta los siguientes factores principales:

- La inversión por cada unidad generadora.  
El proyecto total por la renovación de los reguladores de velocidad de las cuatro unidades generadoras, fue de 2,000,000.00 US\$ por lo que se considero que la inversión por cada unidad generadora fue de 500,000.00 US\$.
- El ahorro anual por costos de mantenimiento.  
El costo de mantenimiento de los reguladores tiene un monto ya presupuestado, lo que se ha considerado es el costo de las horas hombre de terceros y propios por el mantenimiento adicional debido a la antigüedad del regulador y el mantenimiento por fallas.  
Para la atención de mantenimiento o falla se requiere personal contratista y propio. En la tabla N° 2.1 se muestra el detalle del costo anual de mantenimiento en dólares americanos.

**TABLA N° 2.1 Costo anual de mantenimiento**

Personal	Hora Hombre (USD)	1 jornada de 24 horas (USD)	4 jornadas (USD)
01 Técnico electricista (Tercero)	7.0	168.0	672.0
01 Técnico control (Tercero)	7.0	168.0	672.0
01 Supervisor control (Tercero)	8.0	192.0	768.0
01 Inspector control (Propio)	9.0	216.0	864.0
01 Técnico mecánico (Tercero)	7.0	168.0	672.0
01 Técnico mecánico (Tercero)	7.0	168.0	672.0
01 Supervisor mecánico (Tercero)	8.0	192.0	768.0
01 Inspector mecánico (Propio)	9.0	216.0	864.0
<b>Costo anual de mantenimiento (USD)</b>			<b>5,952.0</b>

- Energía vendida por disminución de desconexiones por falla o programadas.  
En promedio se ha considerado 4 días que se dejaría de vender energía por atención de mantenimiento adicional programado o por falla.  
En la tabla N° 2.2 se muestra el costo en dólares americanos que se ganaría por la energía vendida si no se indisponen la unidad para atención de una falla cuya reparación es de cuatro días.

**TABLA N° 2.2 Costo de energía vendida**

Concepto	USD
Costo marginal \$ / MWh	30.0
1 día	720.0
4 días	2,880.0
<b>Para un grupo 63 MW</b>	<b>181,440.0</b>

- Lucro cesante para implementar el proyecto.

La implementación de la renovación del regulador fue de aproximadamente 15 días, en el cual la unidad generadora dejó de generar energía.

En la tabla N° 2.3 se muestra el costo en dólares americanos de energía vendida que se dejaría de ganar si se indisponen la unidad para la modernización del regulador de velocidad.

**TABLA N° 2.3 Costo de energía que se deja de vender**

Concepto	USD
Costo marginal \$ / MWh	30.0
1 día	720.0
15 días	10,800.0
<b>Para un grupo 63 MW</b>	<b>680,400.0</b>

- Se proyectó que el nuevo regulador de velocidad tendrá una vida útil mínima de 15 años.
- Con estos datos considerados el resultado del VAN y el TIR quedan como sigue:

VAN: 249,057.7 USD

TIR: 16.7%

En el Anexo A se muestra mayor detalle del cálculo del VAN y TIR,.

## 2.3 EQUIPAMIENTO

Luego del análisis y estudio de la mejor alternativa tecnológica, se adquiere el nuevo regulador de velocidad para la Central Huinco cuyos componentes y características principales, se mencionan a continuación [1].

Componentes de control:

- Tablero de Control
- 01 Módulo de control CPX (canal automático y manual)
- 01 Módulo de adquisición, registro y control MultiCan
- 01 Software de Controle, incluyendo recursos avanzados
- 01 Interfaz Hombre Máquina local;
- 01 Sistema Independiente de Monitorización de Velocidad (SMVI)
- 01 Interfaz de Comunicación Serial RS232 / RS485, protocolo Modbus RTU
- Entradas análogas y digitales para interfaz con transductores y lógica de la planta
- Contactores auxiliares y disyuntores;
- Fuentes de Alimentación del Regulador - CA y CC
- Fuentes de Alimentación de las válvulas proporcionales
- 02 Transductores lineares de posición de las agujas
- 01 Transductor lineal de posición del deflector
- Convertidores de señales;
- Borneras de interfaz

Componentes de unidad hidráulica:

- Bloque manifold de control y mando de los inyectores de las turbinas
- Bloque manifold de control y mando de los deflectores
- Bloque manifold de mando de las válvulas esféricas e frenos contra chorro
- Bloque manifold de control de la intermitencia de las bombas de regulación
- Sistema doble de filtraje de óleo
- Sensores para medición y monitoreo de temperatura, nivel y presión del aceite
- Sistema de filtro offline
- Sistema de medición de velocidad y sobrevelocidad
- Automatización del accionamiento de la válvula esférica
- Filtro de agua para de mando de la válvula esférica

- Tuberías y estructuras para montaje.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE CONTROL

- Número de canales de control: Doble canal
- Tipo de IHM: IHM Gráfica touchscreen
- Alimentación: CC y CA en 220Vcc y 220Vac
- Protocolo de comunicación externo: Modbus TCP
- Número de entradas digitales: 32 entradas aisladas
- Número de salidas digitales: 64 (contactos secos)
- Número de entradas análogas dedicadas para medición de tensión terminal: 3 entradas (fases A, B y C) en 115Vac
- Número de entradas analógicas dedicadas para medición de corriente terminal: 3 entradas (fase A, B y C) en 5A
- Número de entradas análogas: 8 entradas aisladas en 4 a 20mA
- Número de salidas análogas: 12 salidas aisladas en 4 a 20mA
- Número de entradas digitales rápidas: 3 entradas

## 2.5 DIAGRAMA BÁSICO

En la Fig.2.1 se ilustra el esquema eléctrico básico del sistema de regulación de velocidad.

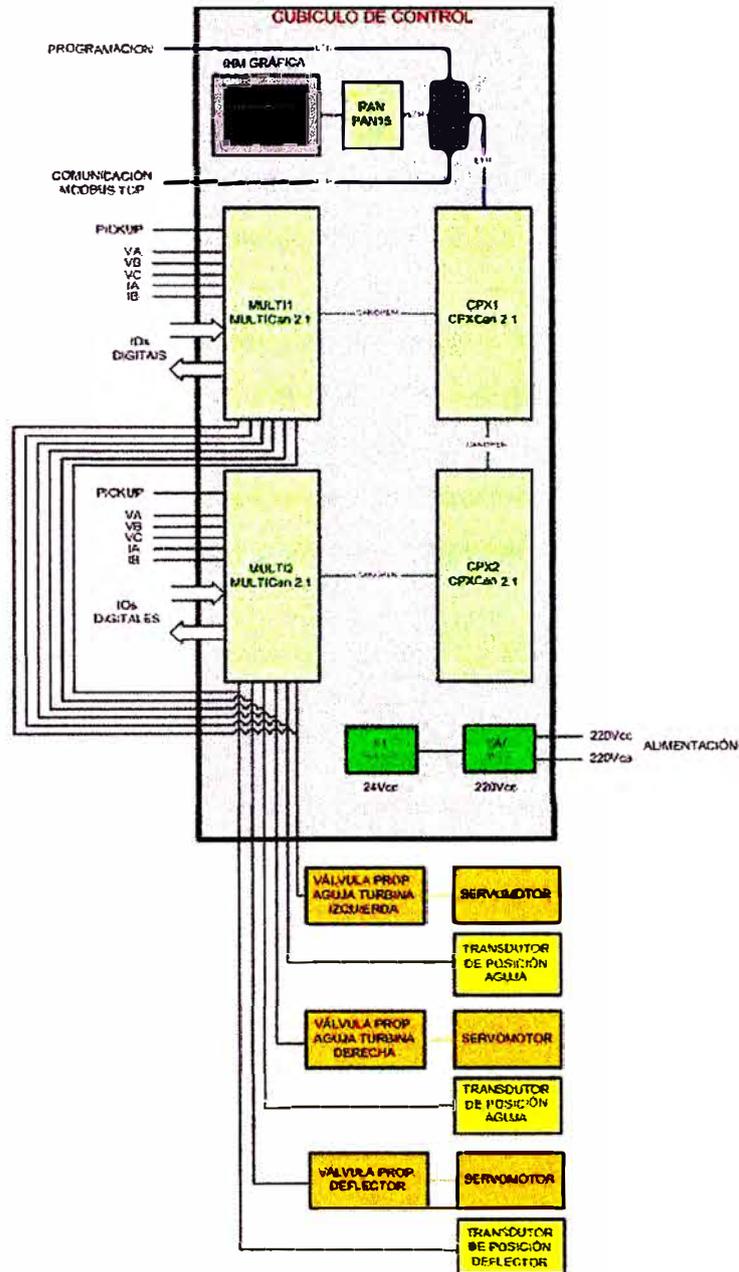


Fig.2.1 Esquema eléctrico básico del sistema de regulación de velocidad REIVAX.

## 2.6 FUNCIONALIDADES DE COMPONENTES

- Módulo CPXCan 2.1: El CPXCan es el módulo central del regulador. Contiene el software aplicativo del regulador. La CPX centraliza las informaciones entre los módulos de IO y está capacitado para almacenar los parámetros de demás módulos, facilitando el cambio de los mismos [4].
- Módulo MULTICan 2.1: El MULTICan es un módulo de adquisición, registro y control responsable por toda la parte de interfaz del equipo. Posee tanto entradas y salidas digitales como también análogas [5].
- Módulo PAN15: Es un módulo auxiliar responsable por la administración de la IHM Gráfica.
- IHM: Responsable de la interfaz del equipo con el usuario. La pantalla gráfica touchscreen permite al usuario dar mandos para el equipo localmente, cambio de parámetros y visualización de las magnitudes.
- Módulo SAC12: Responsable de la selección de alimentación del cubículo a través del ramal continuo o alterno, proporcionando en su salida una tensión continua y filtrada.
- Fuente de alimentación 125Vcc / 24Vcc 1 y 2: Responsable de la alimentación de los componentes externos al equipo.
- SWITCH: Responsable por la conexión de la comunicación modbus en el equipo.

## 2.7 FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD

- Regulación automática de frecuencia/potencia.
- Regulación manual de posición del Inyector [2].
- Regulación de frecuencia en caso de operación en una red aislada.
- Inicio manual de la partida de las unidades y ajuste de carga en etapas en forma manual en el cubículo de control local y desde la sala de control.
- Activación completamente automática de la partida de las unidades por secuencia de acciones de control vinculadas y capacidad para la partida o parada de la unidad mediante un pulso en un contacto de forma local o remota.
- En el cubículo de control se puede elegir entre el modo "auto" y "manual" y entre la operación "local" y "remota".
- Limitador de apertura.

- Supervisión de velocidad del 0 al 200% de la velocidad nominal.
- Aceleración ajustable en la partida de la turbina.
- Lógica de arranque y paro automáticos.
- Paro parcial sin rechazo de carga.
- Supervisión de velocidad con relés de salida ajustables de 0 a 200% de la velocidad nominal.
- Estatismo de potencia o de posición.
- Funciones de compensador en adelanto para optimización de los mandos de carga.
- Función de Rastreo y Conmutación para manual en caso de falla del Regulador Automático.
- Ajuste independiente para operación en vacío, operación en carga (interconectada o aislada), con cambio automático de los ajustes.
- Una secuencia de arranque se puede interrumpirse inmediatamente mediante un comando de detención.
- Capaz de recibir órdenes remotas para tomar un valor de carga preestablecido y para carga mínima previamente programada desde la estación maestra.
- Ajuste del estatismo permanente en el intervalo 0-10% en etapas de 1%. El ajuste del estatismo se realiza localmente y remotamente.
- Capacidad para trabajar en sistema de regulación centralizada de carga para regular la frecuencia del sistema interconectado nacional.
- Compatibilidad con los equipos de sincronización automática y regulación de tensión existentes.

## **2.8 CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO**

### **Control**

El regulador controla la turbina con estabilidad a cualquier velocidad entre 60% y 110% de velocidad nominal, y a cualquier carga entre cero y la carga correspondiente a la máxima apertura de los inyectores de la turbina.

El regulador de turbina conmuta automáticamente a la frecuencia de regulación con parámetros de regulación adecuados para este modo si la variación de la frecuencia es mayor que el límite establecido.

Al operar en el control de potencia, el valor de referencia de la potencia es la potencia real del generador.

### **Estabilidad**

La magnitud de la oscilación sostenida de velocidad causada por el regulador no excede el 0.3% de la velocidad nominal con la unidad funcionando a velocidad nominal y carga aislada sostenida y con un estatismo del regulador de 2% a 5%, inclusive. La magnitud de oscilaciones de velocidad se define como la suma de la amplitud de dichas oscilaciones por sobre y por debajo de la velocidad media.

### **Velocidad - Estabilidad**

El sistema regulador de velocidad es capaz de controlar con estabilidad la velocidad de la turbina cuando es operada a velocidad nominal y sin carga o cuando es operada a velocidad nominal con carga aislada en todo el rango de potencia, incluso la máxima. El sistema regulador también es capaz de controlar con estabilidad la potencia cuando la unidad está funcionando en paralelo con otras unidades en la planta o en un sistema de potencia interconectado.

### **Tiempo Muerto**

Para un cambio súbito de carga mayor del diez por ciento (10%) de la capacidad nominal de la turbina, el tiempo muerto no es mayor que 0,2 segundos.

### **Banda Muerta**

La magnitud total del cambio en velocidad en régimen estable o velocidad nominal de la unidad dentro de la cual no hay cambio resultante en la posición de los servomotores de los inyectores, no excede el 0.02% de dicha velocidad en cualquier apertura de los inyectores.

### **Señal de Velocidad**

La señal de velocidad a los elementos de control de la velocidad variará esencialmente y directamente con la velocidad del eje principal de la unidad para todas las variaciones de aceleración y desaceleración hasta 115% de velocidad nominal. La señal no se ve afectada por las variaciones en el voltaje o corriente del sistema principal de excitación del generador o del sistema de transmisión al

que está conectada la unidad. La vibración o movimiento lateral normal del eje principal no afecta la confiabilidad de la señal de velocidad.

### **Rechazo de carga**

El sistema de regulación cumple los requisitos del Párrafo 4.1.2 de la Norma IEEE 125; considerando que a continuación de un rechazo desde cualquier carga, inclusive la carga máxima, hasta llegar a carga nula, la velocidad retorna al valor consignado, con una desviación por debajo de la velocidad que no exceda el 5%, y en una desviación de sobre velocidad que no exceda el 5%.

El regulador de turbina está diseñado de modo que el aumento de presión en la entrada de la turbina, debido al rechazo de la carga bajo cualquier modo de operación, no excede 10% de la presión estática.

### **Protocolo de comunicación y software**

El protocolo de comunicación es MODBUS compatible con el sistema de control y reguladores de velocidad, sincronización y otros equipos que puedan integrarse en una red de datos. La supervisión, modificación de las consignas e inicialización de las secuencias de control programadas en el regulador de velocidad se podrá efectuar utilizando este protocolo.

El Software del regulador tiene las siguientes funcionalidades:

- **Medición de la frecuencia:** Basado en sistema triple redundante, posibilitando al Regulador de Velocidad realizar las secuencias de control de acuerdo con las secuencias de arranque y parada de la unidad.
- **Control de frecuencia (modo de Control Automático):** Realizada con un error menor que 0,5%, con rutinas ejecutadas en paso de muestra de 1 ms. Rango de ajuste totalmente ajustable por la IHM. Rango ajustable 0-150%.
- **Control de frecuencia para pruebas:** Realizada con un error menor que 0,5%, con rutinas ejecutadas en paso de muestra de 1 ms. Rango de ajuste totalmente ajustable por la IHM. Rango ajustable 0-150%.
- **Control de potencia eléctrica (modo de Control Automático):** Realizada con un error menor que 0,5%, con rutinas ejecutadas en paso de muestra de 1 ms. Rango de ajuste totalmente ajustable por la IHM. Rango ajustable 0 – 200 %.
- **Control de posición de las agujas / distribuidor (modo de Control Manual):** Realizada con error menor que 0,5%, con rutinas ejecutadas en paso de muestra de 1 ms. Rango de ajuste totalmente ajustable por la IHM. El modo de

control Manual destinase principalmente para el proceso de startup de la máquina y ensayos especiales o operación degradada (perdida de la medición de frecuencia). Rango ajustable 0-100%

- **Follow-up activo:** Función follow-up bidireccional activo que permite el sincronismo de las referencias internas, permitiendo la transferencia entre canales y modos de control sin pérdida del punto de operación de la máquina síncrona.
- **Control independiente de las consignas:** Control independiente de las consignas de velocidad/frecuencia y potencia, permitiendo ajustes de valores máximos.
- **Estatismos:** Estatismo Transitorio con parámetros independientes para regulador a vacío y regulador en carga. Estatismo permanente con ajuste para posición potencia. Rango de estatismo frecuencia apertura y frecuencia potencia con Rango Ajustable 0 – 20%.
- **Modos de operación:** Operación estable en condiciones aisladas o operación interconectada al sistema.
- **Toma de carga:** Subida (rampa) de carga ajustable, con función para toma rápida de carga, “feed forward”, Función compensador en adelanto para la optimización de las respuestas a los comandos de carga.
- **Limitador de abertura del servo:** Limitador de apertura del servo en un valor máximo o mínimo de apertura, con tasa ajustable.
- **Tiempo de apertura y cierre de las agujas / distribuidor:** Ajustes independientes del tiempo de apertura e cierre de las agujas, posibilitando el control de la sobrevelocidad y sobrepresión conforme las características hidráulicas de los sistemas asociados.
- **Relés de velocidad, posición y potencia ajustables:** Relés de Posición, Velocidad y Potencia con ajustes de setpoint, histéresis y tiempo para la actuación para aplicación en automatismos diversos.

Los parámetros de control interno para el manejo de la regulación son accesibles y modificables mediante un panel de control, vistos en una pantalla ubicado en el mismo panel.

Se tiene acceso al regulador de velocidad mediante un puerto serial RS-232 o Ethernet con un terminal portátil tipo LAPTOP o equivalente.

Para la comunicación entre el terminal y el regulador de velocidad no requiere de un Software especial.

El lenguaje de programación y el sistema operativo deberá ser compatible con los suministrados por los demás fabricantes de equipos digitales.

### **Monitoreo de la velocidad**

El nuevo sistema de monitoreo de velocidad genera los umbrales e inicia funciones tales como:

- Límite de velocidad >110% que activa una interrupción de la velocidad excedente en el modo manual.
- Límite de velocidad >90% que activa el regulador.
- Turbina independiente
- Rotación del contador
- Maquina Parada
- Giro indebido con maquina parada
- Conexión de SLF a 20% de la Velocidad Nominal
- Conexión de Excitación a 90% de la Velocidad Nominal
- Sobre velocidad 120%
- Otras que se requieran

### **Modos de control**

El equipo posee los siguientes modos de control implementados:

- Control manual de la posición de la válvula proporcional de las agujas: Control manual de la posición de la válvula proporcional a través de los mandos directos para utilización en los testes y ensayos.
- Control manual de la posición del deflector: Control manual de la posición del deflector a través de mandos directos para utilización en ensayos.
- Control por abertura
- Control por potencia

Rutinas de control garantizan la conmutación automática entre las variables de control, manteniendo el punto de operación de la unidad síncrona. Cualquier falla en la transducción de las variables controladas desencadena el proceso automático de conmutación de variables.

### **Limitadores**

El equipo posee los siguientes limitadores implementados vía software.

- Limitador de Carga: Limita dinámicamente la apertura de la aguja dentro de valores ajustables en la IHM Gráfica, instalada en la porta frontal del cubículo de control del sistema de regulación de velocidad, limitando así la potencia activa generada.
- Limitador de Arranque 1: Limita la apertura de la aguja durante el arranque de la unidad generadora, en un valor definido en la IHM.
- Limitador de Arranque 2: Limita la apertura de la aguja en un valor definido en la IHM, cuando la unidad esta en velocidad nominal y no sincronizada.

### **Otras funciones**

- Operación aislada
- Operación interconectada
- Conjugación posición del aguja y deflector

La condición de operación interconectada deberá ser hecha de manera automática siempre que la unidad sea sincronizada al sistema de potencia o cual está conectada. Caso la frecuencia se quede fuera de los valores definidos para operación en este modo, la conmutación deberá ocurrir de manera automática para el modo de operación aislada. Deberá ser posible también el cambio de la condición de operación (operación interconectada, operación aislada) a través de la IHM o vía comunicación serial.

## **2.9 INTERFAZ EXTERNA**

### **Entradas digitales**

El Sistema de Regulación de Velocidad posee las siguientes entradas digitales disponibles vía lógica convencional (eléctrico) para mando y estados remotos:

- Permisible de arranque.
- Mando de arranque.
- Mando de parada.
- Mando de aumentar referencia frecuencia / potencia.
- Mando de disminuir referencia frecuencia / potencia.
- Mando de aumentar referencia limitador de apertura.
- Mando de disminuir referencia limitador de apertura.
- Estado del disyuntor de grupo 52.
- Estado del relé de protección mecánica 86E.

- Estado del relé de protección mecánica 86M.

### **Salidas digitales**

El Sistema de Regulación de Velocidad posee las siguientes salidas digitales disponibles vía contacto seco para señalizaciones y mandos remotos:

- Estado máquina arrancada.
- Estado máquina parada.
- Potencia activa nula.
- Listo para arranque.
- Falla tensión control regulador.
- Falla tensión de alimentación SMVI.
- Velocidad = 0%.
- Velocidad > 90%.
- Velocidad < 30%.
- Velocidad > 140%.
- Velocidad reserva.
- Falla leve en el regulador de velocidad.
- Falla grave en el regulador de velocidad.
- Emergencia.
- Falla CLP del SMVI.

### **Entradas análogas**

El Sistema de Regulación de Velocidad tiene las siguientes entradas para señales análogas para medición y control:

- Tensión terminal - Fase A (115Vac).
- Tensión terminal - Fase B (115Vac).
- Tensión terminal - Fase C (115Vac).
- Corriente terminal - Fase A (5A).
- Corriente terminal - Fase B (5A).
- Corriente terminal - Fase C (5A).
- Posición de la aguja turbina 1A (0 a 10V).
- Posición de la aguja turbina 1B (0 a 10V).
- Posición del deflector (0 a 10V).
- Nivel arriba (4 a 20mA).
- Nivel abajo (4 a 20mA).

- Presión aguas abajo conducto 1A (4 a 20mA).
- Presión aguas abajo conducto 1B (4 a 20mA).

### **Salidas análogas**

El Sistema de Regulación de Velocidad tiene salidas disponibles en 4 a 20mA de las siguientes señales análogos para indicaciones remotas:

- Señal de control válvula proporcional turbina 1A (4 a 20mA).
- Señal de control válvula proporcional turbina 1B (4 a 20mA).
- Señal de control válvula proporcional deflector (4 a 20mA).
- Posición aguja turbina 1A (4 a 20mA).
- Posición aguja turbina 1B (4 a 20mA).
- Posición del deflector (4 a 20mA).
- Potencia activa (4 a 20mA).
- Frecuencia (4 a 20mA).
- Rotación (4 a 20mA).

## **2.10 INTERFAZ INTERNA**

### **Interfaz del módulo MultiCAN**

Conforme descrito anteriormente el módulo MultiCAN es responsable por toda parte de interfaz del equipo siendo disponible:

- 3 entradas análogas dedicadas a adquisición de tensiones terminales.
- 3 entradas análogas dedicadas a adquisición de corrientes terminales.
- 8 entradas análogas para medición de nivel, posición, entre otros.
- 12 salidas análogas para actuadores y indicadores en cubículos externos.
- 3 entradas rápidas para medición de frecuencia.
- 48 entradas digitales para estados de llaves y sensores.
- 24 salidas digitales para actuación de dispositivos externos.

### **Entradas digitales**

Las entradas digitales del módulo MultiCAN son distribuidas en tres bloques, aislados entre sí y contra el aterramiento del cubículo. Los señales oriundos de la planta pondrán ser conectados directamente al módulo, sin necesidad de condicionamiento externo.

Las características de las entradas digitales:

- Número: 48.
- Tensión de Aislamiento: 2500V RMS, 1min, norma IEC Conectores contra aterramiento del cubículo Entre bloques de entradas.
- Cable:  $\varnothing\frac{1}{2}$ mm o  $\varnothing$ 1mm, con terminal adecuado.
- Niveles: Alto: 100V~150VCC y Bajo: 0 ~ 10VCC.
- Corriente: <10mA.
- Impedancia de entrada: Igual a o mayor que 10kW.
- Protección contra sobre tensión: Varistor 200V.

En el listado siguiente se indican las entradas digitales configuradas para el proyecto:

- 1 Permisible de arranque.
- 2 Mando de arranque.
- 3 Mando de parada.
- 4 Aumentar referencia carga / frecuencia.
- 5 Disminuir referencia carga / frecuencia.
- 6 Aumentar referencia limitador de apertura.
- 7 Disminuir referencia limitador de apertura.
- 8 Modo de operación local.
- 9 Estado máquina arrancada / parada.
- 10 Estado disyuntor de grupo 52.
- 11 - reserva - -
- 12 Estado bloqueo eléctrico 86E.
- 13 Estado bloqueo mecánico 86M.
- 14 - reserva - -
- 15 Falla alimentación CC.
- 16 Falla alimentación AC.
- 17 Falla alimentación SMVI.
- 18 Falla SMVI.
- 19 Permisible de arranque de PUH para RV.
- 20 Falla del hardware PUH.
- 21 Falla leve PUH.
- 22 Falla grave PUH.
- 23 - reserva -
- 24 - reserva -
- 25 Válvula esférica 1B cerrada.

- 26 Válvula esférica 1B abierta.
- 27 Válvula esférica 1A cerrada.
- 28 Válvula esférica 1A abierta.
- 29 Válvula aislamiento abierta / cerrada.
- 30 Freno turbina 1B aplicado / desaplicado.
- 31 Freno turbina 1A aplicado / desaplicado.
- 32 Filtro de presión – aceite sucio.
- 33 Filtro de retorno – aceite sucio.

### **Entradas análogas internas**

El módulo MultiCAN presenta 8 entradas análogas separadas en dos bloques. Las entradas son aisladas del aterramiento del cubículo, pudiendo recibir señales directamente de la unidad generadora, sin necesidad de condicionamiento externo.

Estas entradas sirven para adquirir valores de transductores de posición, temperatura, corriente y tensión, entre otros. Para correcta utilización del equipo.

Las características de las entradas análogas:

- Rango Nominal Física: 0 a 20mA (Efectiva, para detección de falla: 4 a 20mA)
- Aislamiento: 2500V RMS, 1min, norma IEC  
Conectores contra aterramiento del cubículo

Abajo son descritas las entradas análogas configuradas para el proyecto:

1. Posición de la aguja de la turbina 1A.
2. Posición de la aguja de la turbina 1B.
3. Posición del deflector.
4. Nivel arriba.
5. Nivel abajo.
6. Presión aguas abajo conducto 1B
7. Presión aguas abajo conducto 1A.

### **Medición de parámetros terminales**

El módulo MultiCAN está capacitado para hacer la adquisición de un conjunto completo de mediciones trifásicas, y hacer el procesamiento interno. Los bloques de medición de corriente y tensión son aislados entre sí.

El condicionamiento de las entradas permite que señales provenientes del TP y TC puedan ser conectados directamente al módulo, dentro de los límites definidos a continuación:

Las características generales de las magnitudes terminales:

- Aislamiento: 2500V RMS, 1min, norma IEC; conectores contra aterramiento del cubículo; entre bloques de tensiones y bloques de corrientes.
- Resolución: 24 bits
- Precisión: Mayor a 99,9%
- Cable: Ø 1mm o Ø 1,5mm, con terminal adecuado a fijación en borne con mola.

Las características específicas de las entradas de tensión terminal:

- Puntos: VA, VB, VC, VN
- Filtro de Entrada:  $f_c = 1\text{kHz}$
- Rango Nominal: 115 V; Máxima: 200 V

Las características específicas de las entradas de la corriente terminal:

- Puntos: IA (+, -), IB (+, -), IC (+, -)
- Filtro de Entrada:  $f_c = 1\text{kHz}$
- Rango Nominal: 5A

### **Entrada de PT**

El módulo MultiCAN posee una entrada de medición de frecuencia vía PT, donde es conectada, normalmente, la tensión de la fase A del PT de la planta.

Las Características de la entrada de frecuencia por PT:

- Puntos: PT (+, -)
- Frecuencia:
  - Mínima: 5Hz
  - Máxima: 120Hz
- Tensión:
  - Mínima: 500mVac
  - Máxima: 230VAC
- Impedancia de Entrada: Mayor que 100kW
- Protección: Tensión Excesiva: Varistor 250V
- Aislamiento: 2500V RMS, 1min, norma IEC  
Conectores contra aterramiento del cubículo

2000V RMS, 1min, norma IEC

Entre bloques de entradas de frecuencia.

### Salidas digitales internas

El módulo MultiCAN posee 24 salidas digitales con capacidad de hacer el mando de dispositivos externos, o accionar pequeñas cargas inductivas.

Características de las salidas digitales:

- Tipo de contacto: Estado sólido polarizado
- Resistencia:
  - Contacto cerrado: Menor do que 5W.
  - Contacto abierto: Mayor do que 250MW.
- Máxima Tensión: 250VCC.
- Máxima Corriente: 200mA.
- Máxima Potencia: 40VA.
- Máxima Frecuencia: 500Hz.
- Número de Actuaciones: Virtualmente infinita, sin degradación mecánica.
- Aislamiento:
  - 2500V RMS, 1min, norma IEC.
  - Conectores contra aterramiento de panel.
  - 1000V RMS, 1min, norma IEC.
  - Entre salidas.
- Protección tensión excesiva: Varistor 250V
- Cable: Flexible de Ø ½mm o Ø 1mm, con terminal adecuado a fijación con tornillos.

Descripción de las salidas digitales:

1. Regulador listo para arranque.
2. Mando de arranque.
3. Mando de parada.
4. Potencia activa nula.
5. Rearme SMVI.
6. Reserva .
7. Mando apertura válvula aislamiento.
8. Mando cierre válvula aislamiento.
9. Mando apertura válvula esférica 1A.
10. Mando cierre válvula esférica 1A.

11. Mando apertura válvula esférica 1B.
12. Mando cierre válvula esférica 1B.
13. Mando aplicar freno turbina 1A y 1B.
14. Mando desaplicar freno turbina 1A y 1B.

### **Salidas análogas internas**

El módulo MultiCAN posee 12 salidas análogas para mando de actuadores externos e indicadores del cubículo.

#### Características generales de las salidas análogas

- Rango Nominal Física: 0 a 20mA (Efectiva, para detección de falla: 4 a 20mA)
- Precisión: Mejor o igual a 99,9%
- Aislamiento: 2500V RMS, 1min, norma IEC  
Conectores contra aterramiento del cubículo

#### Descripción de las salidas análogas

1. Señal de control de la válvula de control da válvula proporcional de la aguja turbina 1A.
2. Señal de control de la válvula de control da válvula proporcional de la aguja turbina 1B.
3. Señal de control de la válvula de control da válvula proporcional del deflector
4. Posición de la aguja turbina 1A.
5. Posición de la aguja turbina 1B.
6. Posición del deflector.
7. Potencia activa.

## **2.11 ALARMAS Y FALLAS**

La identificación de fallas ocurridas en el Sistema de Regulación de Velocidad es hecha a través de las rutinas de fallas y protecciones presentes en el programa aplicativo (software), bien como las lógicas convencionales con contactores auxiliares.

Las informaciones se quedan registradas e activas hasta que el operador haga un mando de reconocimiento de alarma o falla.

Alarmas y fallas permanecen actuados mismo que si tenga cesado la causa del defecto, siendo necesario rearmarlo a través de la botonera de rearme en la porta frontal del cubículo de regulador o vía IHM.

### **Alarmas vinculados al sistema de regulación de velocidad**

Son consideradas alarmas los eventos ocurridos que no implican desconexión de la unidad generadora.

- Tiempo excesivo de retirada de carga
- Tiempo excesivo de tomada de carga
- Falla en la transducción de potencia activa

### **Fallas vinculadas al Sistema de Regulación de Velocidad**

Son considerados fallas todos los eventos ocurridos que necesiten la parada de la unidad generadora. Algunas fallas son listadas abajo. Mayores informaciones pueden ser obtenidas en el Manual de Operación y Mantenimiento.

- Actuación del relé de sobre velocidad
- Tiempo de sobre abertura de las agujas
- Tiempo excesivo no proceso de arranque
- Tiempo excesivo no proceso de parada
- Falla en la transducción de posición de las agujas
- Falla en la transducción de posición del deflector
- Falla en la medición de frecuencia

### **Alarmas generales**

- Falla en el ramal de alimentación CC
- Falla en el ramal de alimentación AC
- Pérdida de la comunicación IHM

### **Fallas generales**

- Pérdida total de alimentación
- Falla de hardware del equipo (watchdog)



Los registros son programables permitiendo al usuario definir cuáles señales desea registrar, durante cuánto tiempo, en qué paso desea registrar y cual será el gatillo para iniciar el registro. También permite registrar señales con tiempo de pre-disparo, registrando antes del evento de gatillo.

Es utilizado todavía en pruebas de puesta en operación, pruebas de mantenimiento y registro de ocurrencias transitorias para fines de análisis de comportamiento y de defectos. En la Fig.2.3 que sigue podemos observar un ejemplo de un registro interno del sistema de regulación de velocidad.

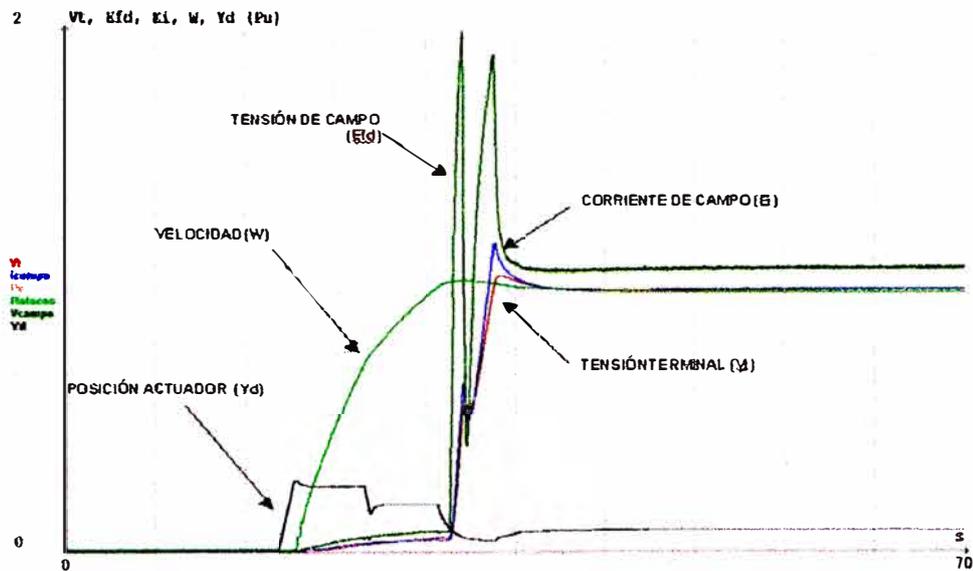


Fig.2.3 Registro interno

### Sistema de Visualización en Tiempo Real

Con una computadora conectada al Sistema de Regulación, a través de una dirección IP, sea por conexión serial RS232 en el frontal del equipo o por conexión de red Ethernet, permite la visualización "On Line" de los valores de lógicas y funciones tal cual presentado en la Fig.2.4 a continuación.

Este recurso permite el diagnóstico en tiempo real de cualquier lógica o función. Para obtener una visualización basta apuntar con el mouse para el punto deseado en el diagrama de bloques.

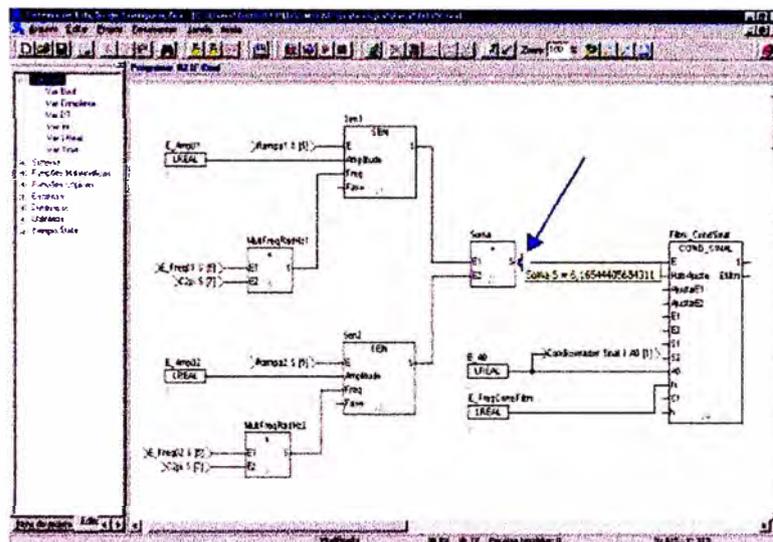


Fig.2.4 Visualización en tiempo real

### Sistema de Visualización Continua de Señales (Oscilografía)

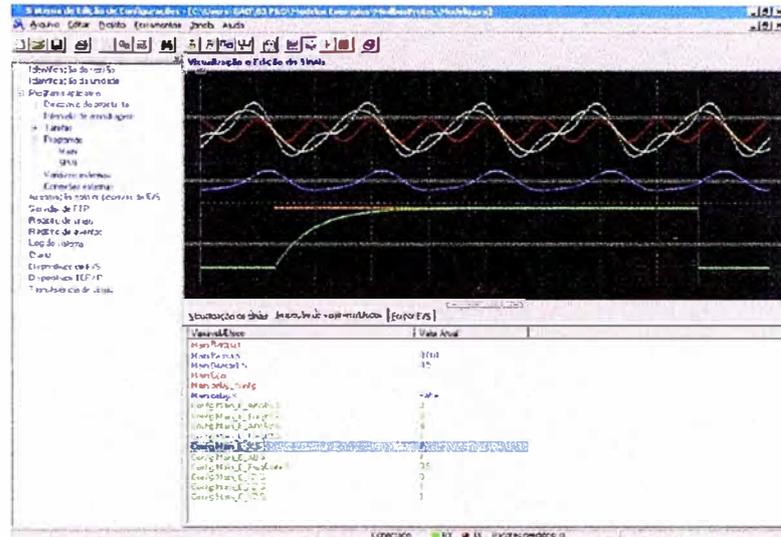
El Sistema de Visualización Continua de Señales (Oscilografía), tal vez sea el recurso más importante. La visualización continua de señales permite al usuario visualizar la dinámica de control del sistema de regulación con paso de adquisición próximo a los pasos de control del sistema.

Diferente del recurso presentado en la Interfaz Gráfica en la pantalla de Gráficos (Para Sistemas de regulación que poseen Interfaz Gráfica), en el Sistema de Visualización Continua de Señales el usuario puede modificar los canales registrados conforme su necesidad, pudiendo incluso visualizar señales intermedias en una malla de control. Permite la visualización simultánea de hasta 16 canales (analógicos o digitales).

Pueden ser alterados todos los parámetros de la visualización continua de señales, tales como, color de las señales, banda de valores, color de fondo, etc..

En la Fig.2.5 a continuación es presentado un ejemplo del Sistema de Visualización Continua de Señales.

De la misma forma que presentado para los demás recursos la Visualización Continua de Señales (Oscilografía), necesita como recursos de una computadora conectada a través de una dirección IP por medio de comunicación serial o Ethernet y utilizando el software SEC para edición de configuraciones.



**Fig.2.5** Visualización continua de señales

### Envío de Señales

El regulador es capaz de transmitir los registros de señales continuas y/o discretas, bien como el registro de eventos, cuando solicitado, a una estación de trabajo. El envío de registros ocurre a través de red TCP/IP y/o serial en la interfaz serial frontal del controlador. Será suministrado software para visualización y manipulación de estos registros de señales y registros de eventos en ambiente Windows.

### Portabilidad de datos

Los Sistema de Regulación REIVAX, generan internamente y almacenan en la memoria un archivo de parámetros ajustados en el equipo. Este mismo archivo puede ser portable, esto es, copiado del Sistema de regulación y utilizado en la generación de una tabla de parametrización o mismo cargado en otro Sistema de Regulación. Esta facilidad permite una rápida y fiel parametrización para diversas unidades generadoras.

**Documentación de ayuda local**

En la Interfaz Hombre Máquina – Gráfica del Regulador está instalada una documentación “digital” incorporada y de apoyo, con la cual el usuario pueda realizar las acciones operativas y de mantenimiento, con auxilio para dirimir dudas en la propia interfaz.

## **CAPÍTULO III**

### **PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL NUEVO SISTEMA**

Las pruebas para la puesta en servicio fueron propuestas por el fabricante, pero fueron revisadas y aprobadas por EDEGEL, por lo que finalmente las pruebas que quedaron definidas para la puesta en servicio fueron las que a continuación se describen.

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DATOS GENERALES**

Como parte inicial de las pruebas, se realiza el registro de las características del regulador de velocidad en prueba, se consideran los datos más relevantes, tales como:

- Fabricante
- Año de Fabricación
- Canales de regulación
- Modos de control
- Sistema de regulación
- Cantidad de actuadores
- Potencia eléctrica
- Frecuencia
- Potencia activa
- Potencia reactiva

#### **3.2 INSPECCIONES Y VERIFICACIONES INICIALES**

Aquí se inicia la puesta en servicio propiamente dicha, en esta etapa son efectuadas diversas verificaciones relacionadas al transporte del equipo, instalación e interconexión del mismo con sus periféricos, la planta y sus alimentaciones.

### 3.2.1 INSPECCIÓN DEL EQUIPO Y DE LA INSTALACIÓN DEL MISMO

La Inspección debe ser realizada verificando si existen daños en el equipo, causados por el transporte o instalación, verificando tanto en las partes externas como en las internas. Si se encuentra alguna anomalía ésta debe ser anotada en el Informe de Puesta en Servicio.

#### **Procedimiento:**

Efectuar una inspección visual y verificar lo siguiente:

- Abolladuras en las puertas y laterales del panel.
- Daños en la pintura del equipo.
- Componentes internos sueltos y damnificados.
- Tornillos o clavijas de sujeción de placas internas quebrados o abollados.
- Equipo sucio y/o mojado.
- Zona de instalación inadecuada, informar en caso de instalaciones inadecuadas o exposiciones a intemperies.
- Verificación de los cables conectados.

### 3.2.2 VERIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

Durante el transporte o instalación del equipo, éste puede sufrir vibración y/o movimientos bruscos, siendo así algunos componentes pueden soltarse, o aflojarse, como por ejemplo los bornes de cables y líneas, sensores del panel, los ventiladores, etc. Por lo que la etapa de reajustar componentes es de fundamental importancia para la puesta en servicio y para la durabilidad del equipo.

#### **Procedimiento:**

Reajustar 100% las conexiones del panel, llenando la tabla de confirmación de todos componentes del sistema.

### 3.2.3 VERIFICACIÓN DE LAS ALIMENTACIONES

Medir las tensiones de alimentación del equipo, así como las generadas por el mismo. Llenar las tablas de verificación de las alimentaciones y observar las tolerancias, calculando y confirmándolas para que todas se encuentren dentro de la tolerancia aceptable. Se debe tener especial atención en las señales de alimentación que salen del panel para otros sub-sistemas, observando que los mismos estén correctos.

#### **Procedimiento:**

Antes de conectar cualquier fuente:

- Desconecte los cables de componentes externos que son alimentados por el panel y no deben ser alimentados en esta etapa, verificar el esquema eléctrico para eso. Ejemplo de esto son los sensores de posición y frecuencia para los Reguladores.
- Conecte la fuente DC principal del panel, medir los puntos en que la misma deba estar alimentando.
- Conecte las fuentes del equipo, midiendo las señales de salida a cada fuente conectada.
- Conecte las demás fuentes auxiliares, midiendo sus señales de salida.
- Conecte la tarjeta CPU, verificando la normalización de la misma.

Después que todas las fuentes están conectadas anote los valores de entradas y salidas en la tabla del Informe de Puesta en Servicio.

### 3.2.4 VERIFICACIÓN DE COMANDOS Y ESTADOS RECIBIDOS (ENTRADAS DIGITALES)

La validación de toda la integración del equipo a la filosofía de funcionamiento, operación y a las protecciones son importantes, ya que a pesar de que esta validación se da con la unidad generadora parada, es fundamental para el buen desempeño de los demás ensayos.

La primera interfaz a ser examinada son las entradas digitales del sistema de regulación, que son los estados y comandos recibidos, estos estados y comandos

generalmente llegan por la bornera y van hasta la unidad de procesamiento del equipo.

**Procedimiento:**

Forzar las señales de entradas desde los relés, llaves o señalización externa, según los diseños funcionales eléctricos. El resultado obtenido de los estados de las entradas digitales puede ser observado directamente en la CPU a través del accionamiento de sus señalizaciones.

Todas las señales de los diseños funcionales eléctricos deben ser probadas y confirmadas en la tabla de entradas digitales. En algunos casos, debido a la condición de operación de esta etapa, algunos relés, llaves o señales externos deben ser simulados (forzados) para obtenerse el resultado esperado en la señal ensayada.

### **3.2.5 VERIFICACIÓN DE COMANDOS Y ESTADOS ENVIADOS (SALIDAS DIGITALES)**

Como en el caso de las entradas digitales, las salidas digitales también son examinadas.

**Procedimiento:**

Basta accionar las salidas digitales correspondientes del diagrama eléctrico, simulando si fuera necesario, relés, llaves y entradas externas.

Llenar la tabla de comandos y estados enviados, indicando también los elementos simulados.

### **3.3 PRUEBAS EN AGUA MUERTA**

En esta etapa se realizan todos los ensayos requeridos del conjunto Turbina - Generador parado. Para esto la tubería forzada debe estar totalmente vacía.

Estas pruebas verifican la viabilidad de la ejecución de los ensayos de operación posteriores, garantizando la seguridad para el conjunto.

En toda esta etapa se trabaja en malla cerrada para el control de posición de las válvulas y activadores del sistema de regulación de velocidad. Las mallas de control de velocidad serán trabajadas después de finalizados estos ensayos. Es importante cumplir las medidas de seguridad, usando los equipos de protección

personal, candados y señalizaciones de advertencia para el personal que no participa de estos ensayos.

### **3.3.1 PRESURIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACEITE**

Después de los trabajos en el sistema hidráulico debe ser realizada la presurización del sistema para verificar posibles filtraciones, alteraciones en el funcionamiento, trabado, etc.

Para la realización es importante la presencia del responsable de la unidad hidráulica. Recordar siempre que la presurización de un sistema hidráulico, requiere mucha cautela y atención, ya que una línea de presión con filtración es un punto de riesgo de accidente, tanto el mando indebido de apertura o cierre de una válvula o activador pueden ser peligrosos o causar daños a los equipos.

#### **Procedimiento:**

- Asegurar que las salidas de presión que comandan los dispositivos externos de la unidad hidráulica estén bloqueados (cerrados).
- Verificar si el medidor de presión no posee ninguna válvula que impida medir la presión.
- Hacer nuevamente una inspección verificando posibles puntos de filtración así como en las conexiones de los tubos de aceite, principalmente en las líneas de presión.
- Desconectar los cables de comando de las válvulas y sensores de desplazamiento y verificar que los mismos estén conectados correctamente conforme al manual de la válvula e informaciones contenidas en el proyecto. Después de confirmar reconecte los comandos de las válvulas, manteniendo los sensores de desplazamientos desconectados.
- Asegurar de que el panel de la unidad hidráulica esté en condiciones de ser energizado, verificando que todos los sensores, bobinas, válvulas y medidores estén conectados y con su funcionamiento correcto.
- Subir el interruptor que alimenta los comandos de la unidad hidráulica, observando y midiendo la tensión de alimentación del panel.
- Simular la lógica del panel para comprobar su funcionamiento.
- Confirmados todos los dispositivos, accionar el interruptor que energiza las bombas de reposición, el sistema comenzará a cargar el acumulador de presión.

- Monitorear la presión en el medidor de presión, acompañando el aumento de la misma.
- Verificar que al llegar la presión nominal de la unidad hidráulica, las bombas deben ser desconectadas automáticamente al llegar al punto de operación.

### 3.3.2 INSTALACIÓN DE LOS SENSORES

#### **Sensor de desplazamiento de las agujas– LVDT**

La instalación de este sensor utilizado para el desplazamiento del servomotor de las agujas es realizada utilizando alimentación de 24VDC proveniente del regulador, la señal de retorno varía de 0 a 10VDC yendo de la apertura al cierre respectivamente.

#### **Sensor de pickup – medición de frecuencia**

Los sensores de Pickup son sensores de proximidad u ópticos, que generan señales en forma de onda cuadrada. El sensor de medición de frecuencia por Pickup, esta junto a una rueda dentada con un acercamiento de aproximadamente 5mm. Normalmente son instalados 2 sensores colocados 180° uno del otro enviando así dos señales de medición por Pickup a la CPU. El nivel de señal que el sensor está entregando es del orden de  $\pm 24V$ , nunca superior, ya que la entrada correspondiente a la medición de estas señales en la unidad de procesamiento del sistema de regulación, acepta hasta este nivel de señal.

El ajuste en la IHM de este sensor para la transducción de la frecuencia toma en cuenta el número de dientes de la rueda y la velocidad en rpm de la Turbina.

Vea la fórmula de cálculo para la medición de frecuencia por Pickup.

$$MF = (RPM \times N)/60;$$

RPM = Velocidad nominal del conjunto Turbina-generador

N = número de dientes de la rueda dentada

MF = Medición de Frecuencia

#### **Procedimiento:**

- Verificar la instalación de los sensores y medir los niveles de tensión que los alimentan.
- Pasar un objeto frente al sensor y verificar su actuación en el led correspondiente de la unidad de procesamiento.

### 3.3.3 MEDICIÓN DE FRECUENCIA POR SEÑAL DEL TP

La medición de frecuencia por la señal originada del transformador de potencial (TP) de una de las tensiones de salida del generador, normalmente de la fase A, utiliza un cuadrador de señales que convierte la onda senoidal en una onda cuadrada de tensión compatible con la entrada de medición de frecuencia de la unidad de procesamiento del sistema de regulación. El cuadrador posee un transformador en su entrada y tiene la función de aislar la señal del TP de la unidad de procesamiento del sistema de regulación.

#### **Procedimiento:**

- Aplicar una tensión senoidal de amplitud compatible con la salida del transformador de potencia (TP).
- Verificar en la CPU la medición de frecuencia por TP.

### 3.3.4 MOVIMIENTO DE LAS AGUJAS Y DEFLECTOR A TRAVÉS DEL CONTROL

La primera etapa de los ajustes en agua muerta es el movimiento de la válvula proporcional de las Agujas y deflector.

#### **Procedimiento:**

- Coordinar con todo el personal presente que se harán movimientos de las agujas y deflector.
- En caso que exista traba mecánica ésta debe ser desactivada, liberando el movimiento del Servomotor.
- Energizar el panel de control y el panel de la unidad hidráulica.
- En la IHM del regulador vaya al control de salida y poner en cero la ganancia de salida y utilice el Offset para generar una tensión en la salida de la CPU, esto es, colocando un valor igual a 10, la salida asumirá 10V, digitando un valor igual a -10, se obtiene -10V en la salida.
- Aplicar el valor igual a 10V en el parámetro de la IHM de offset de salida, para comandar la apertura del servomotor deseado. Verificar la apertura del mismo. Medir la señal que llega del sensor de desplazamiento del Servomotor.
- Aplicar el valor igual a -10V en el parámetro de la IHM de offset de salida, para comandar el cierre del servomotor deseado. Verificar el cierre del mismo. Medir la señal que llega del sensor de desplazamiento del servomotor.

### **3.3.5 AJUSTES DE TRANSDUCTORES DE POSICIÓN DE ACTIVADORES (AGUJAS Y DEFLECTOR)**

Estos ajustes necesariamente deben ser hechos en agua muerta. 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 los activadores en apertura y cierre.

Las señales provenientes de los transductores de posición de los servomotores 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 garantizando la buena calidad de la regulación. La calidad de la regulación depende directamente de la calidad de las medidas realimentadas y siendo así es muy importante que el ajuste sea realizado con precisión.

Para condicionar las señales de los transductores es utilizado un conjunto de ganancias y offset regulables vía IHM.

#### **Procedimiento:**

- Identificar los bornes de entrada de la señal de posición del transductor en el panel.
- Identificar los bornes de entrada de la señal de posición del transductor en el equipo.
- Mueva el activador electro-hidráulico hasta la máxima apertura, aplicando el valor igual a 10V en el parámetro de la IHM de offset de salida, para comandar la apertura del servomotor. Verificar la apertura del mismo. Medir la señal que llega del sensor de desplazamiento del servomotor, en el borne de entrada y en el borne de salida correspondiente en relación al cero de la fuente del equipo.
- Mueva el activador electro-hidráulico hasta el máximo cierre, aplicando el valor igual a -10V en el parámetro de la IHM de offset de salida, para comandar el cierre del servomotor. Verificar el cierre del mismo. Medir la señal que llega del sensor de desplazamiento del Servomotor, en el borne de entrada y en el borne de salida en relación al cero de la fuente del equipo.

- Anotar los valores correspondientes para cada sensor de posición en las tablas correspondientes del informe de puesta en servicio.
- Ajustar los valores de ganancia y offset de forma que la CPU identifique correctamente la apertura y cierre de la válvula y del servomotor.

### **3.3.6 MÁXIMA VELOCIDAD DE APERTURA Y CIERRE DEL ACTIVADOR**

El ajuste de máxima apertura y cierre de los servos en el sistema de regulación 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, etc.

El Ajuste de máxima velocidad de apertura y cierre de los servomotores es realizado a través de válvulas reguladoras del caudal en la salida de la unidad hidráulica. En el caso que no exista válvulas para este ajuste es necesario colocar orificios calibrados en la línea de presión en los comandos de apertura y cierre de cada servomotor.

#### **Procedimiento:**

- Comandar la apertura y cierre del servomotor en máxima velocidad, usando la misma técnica para el ajuste de los transductores. Aplique el valor igual a  $\pm 10V$  en el parámetro de la IHM de offset de salida para comandar la apertura y cierre de las agujas en máxima velocidad.
- Es importante registrar las señales del servomotor y de la señal de control, a través del sistema de adquisición o utilizando registro interno.

### **3.3.7 AJUSTES DE LAS MALLAS DE CONTROL DEL ACTIVADOR ELECTRO-HIDRÁULICO**

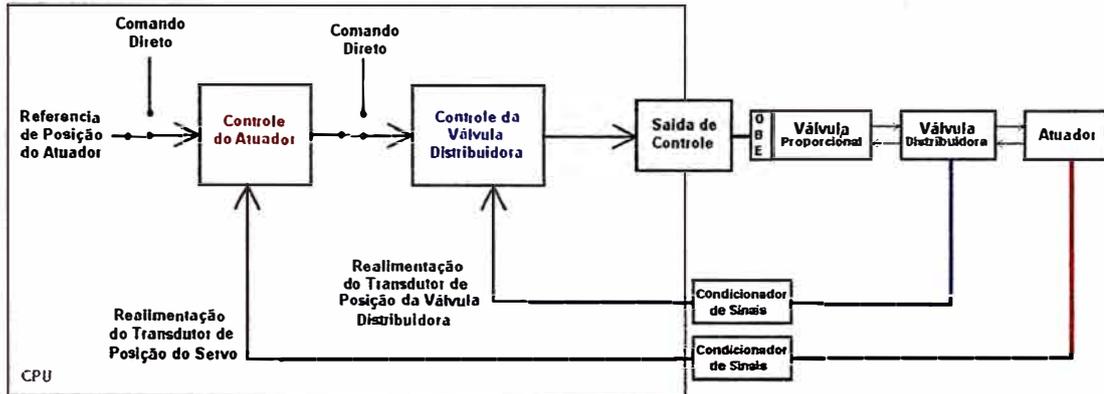
La calidad del control de velocidad y potencia dependen directamente de la calidad del ajuste de las mallas de control del activador electro-hidráulico. Para obtener la mejor respuesta el ajuste de las mallas es efectuado a través de la respuesta al escalón aplicado en sus referencias, a través del comando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

Existen básicamente tres mallas de control de posición:

- Malla de control de la Aguja 1
- Malla de control de la Aguja 2

- Malla de control del deflector

En la Fig.3.1 se puede observar la malla de control de un activador electro-hidráulico, esta malla posee la realimentación del activador, la válvula proporcional no necesita de realimentación pues su posicionamiento es efectuado por la electrónica de la misma (Onboard Electronic).



**Fig.3.1** Malla de control de los activadores

Esta malla se constituye en un controlador PID, combinado con un compensador de zona muerta y/o dither.

Existe la opción de seleccionar un comando directo de la malla, este es utilizado en cada etapa de ajuste de la dinámica de la malla. La salida de control es la que hace la conversión de control en tensión para comandar la válvula proporcional y consecuentemente pilotar el activador.

### 3.3.8 AJUSTE DEL CONTROL DE SALIDA

La salida de control de todas las mallas presentadas arriba es la que hace la conversión de las señales de las mallas de control en la CPU con señales de tensión (corriente), compatibilizando así la relación TENSIÓN (CORRIENTE) X CAUDAL de la válvula proporcional. Los parámetros que ajustan esta salida son una ganancia, offset y limitadores de tensión. Normalmente las ganancias son ajustadas en fábrica para 10V y offset de 0V, permitiendo una excursión de la válvula de  $\pm 10V(4 - 20mA)$ .

Los parámetros de control de la malla son los que se indican en la tabla N° 3.1:

TABLA N° 3.1 Parámetros de control de la salida

Parámetro	Valores	Típico	Observación
<b>Ganancia Salida</b>			
<b>Offset Salida</b>			
<b>Lim. Máxima</b>			
<b>Lim. Mínima</b>			

### 3.3.9 AJUSTE DE LA MALLA DE CONTROL DE LOS ACTIVADORES (AGUJAS Y DEFLECTOR)

Los parámetros de control de la malla de los activadores se indican en la tabla N° 3.2 y en la Fig.3.2 se observa la malla de control en lógica de bloques.

TABLA N° 3.2 Parámetros de la malla de control de activadores

Parámetro	Valores	Típico	Observación
<b>AZM</b>			Amplitud del compensador de zona muerta
<b>Kp</b>			Ganancia proporcional de la malla
<b>Ki</b>			Ganancia Integral de la malla
<b>Ls</b>			Límite Superior del Integrador
<b>Li</b>			Límite Inferior del Integrador
<b>Avance/Atraso</b>			Compatible a una Ganancia Derivativa en la Realimentación (Kd)
<b>Lim Max</b>			Limitador de máxima salida
<b>Lim Min</b>			Limitador de mínima salida

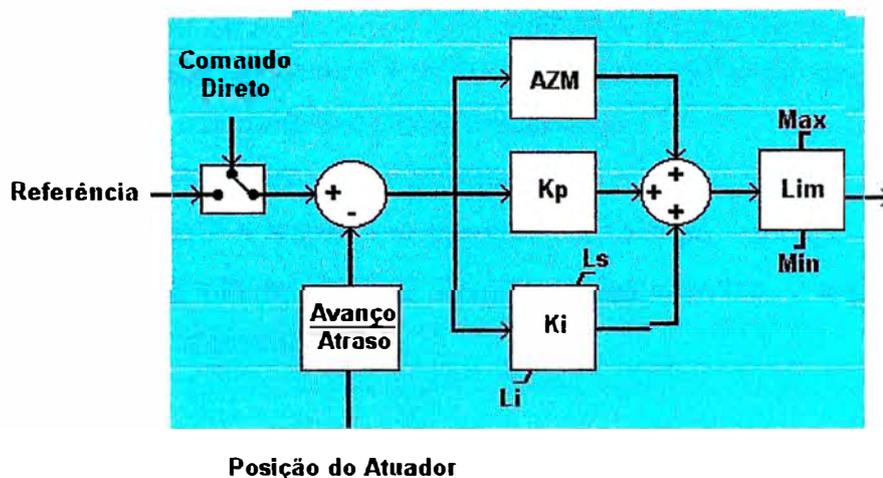


Fig.3.2 Parámetros de la malla de control de los activadores

**Procedimiento:**

- 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 apenas que quede con valores en  $L_s = 1$  y  $L_i = -1$  pu, en etapas posteriores.
- Llevar a cero la anti zona muerta, AZM.
- Mantenga los limitadores de salida de la malla en los valores máximos de  $L_{i_{max}} = 1$  y  $L_{i_{min}} = -1$  pu
- Habilitar el comando directo de la referida malla de control.
- Comandar el activador para una área de actuación en que el mismo tenga una respuesta lineal, por ejemplo alrededor de 0,5pu. Al comandar un activador por comando directo para verificar la dinámica de la malla, se debe tener en cuenta la máxima apertura o máximo cierre del activador, pues estos datos acaban siendo limitantes para el proceso de ajuste, siendo así, procure dar comandos de escalón de amplitud que no alcancen estos valores limitantes, entorno a 0,01pu de movimiento.
- Verificar la respuesta del activador, apenas con la ganancia proporcional, si posee mucho overshoot, disminuya la ganancia proporcional  $K_p$  hasta que el mismo no presente overshoot, hasta que el error en régimen quede acentuado.
- Comience a aumentar la ganancia  $K_i$  de forma que corrija el error en régimen sin causar overshoot.
- Ajustada la Ganancia  $K_i$ , cierre los valores de los límites de integración  $L_s$  y  $L_i$ , verificando que la respuesta de la malla no se modifique, procure mantener la simetría entre estos parámetros, manteniendo los valores iguales para  $L_s$  y  $L_i$ .
- Ajustar el valor de AZM, solamente en el caso de que no haya linealidades que lleve a la malla de control a ciclos-limite, esto es, si se puede observar una oscilación de baja amplitud y baja frecuencia.
- Después de las diversas interacciones para el ajuste, registre la dinámica de la malla de control a través del escalón de  $\pm 0,01$  pu,  $\pm 0,02$  pu y  $\pm 0,05$  pu en la posición de la válvula, con las señales de las válvulas y salida de control ya debidamente convertidas a pu.

### **3.3.10 PARTIDA Y PARADA EN AGUA MUERTA**

Con las mallas de los activadores electro-hidráulicos ajustadas es necesario confirmar que las condiciones de partida y parada de la Turbina, estén en perfecto funcionamiento y bien ajustados mecánicamente. Estos elementos son freno, válvula de aislamiento y válvula esférica.

## **3.4 ENSAYOS DINÁMICOS EN VACÍO**

La etapa de ensayos en vacío tiene por objetivo ajustar el sistema de regulación de velocidad para la partida automática de la turbina y su operación a rotación nominal en vacío (speed no load), dejando el conjunto apto para el sincronismo.

Estos primeros ensayos deben ser ejecutados comandando localmente todos los paneles y siendo acompañados por todos los especialistas de cada área. Por ejemplo, en el giro mecánico, el responsable por la parte de montaje de la turbina, debe estar junto a la misma para verificación de su funcionamiento, vale también para el generador, la unidad hidráulica, el conducto forzado, la toma de agua, válvulas de apertura, válvulas esféricas, etc.

Para realizar los ensayos en vacío es necesario que todos los mecánicos, eléctricos e hidráulicos, estén listos para la realización de los mismos, así como disponer de agua, en cantidad suficiente, para la presurización del sistema.

El llenado del conducto, debe ser realizado por los especialistas responsables por la turbina, así como todo el procedimiento de ecualización de presión. Ante la falta de este profesional, quien debe asumir esta operación es el personal de operación de la Central.

Otro punto importante es que las protecciones relativas a la turbina y al generador deben estar activas, con valores de ajuste más abiertos, así como todo el intertrabamiento esté satisfactoriamente probado para que se pueda comandar el proceso de partida de la unidad generadora con seguridad.

Los ensayos en vacío comprenden el giro mecánico de la unidad generadora, la partida gradual, la partida y parada automática, el bloqueo del sistema de regulación de velocidad, los ajustes de la malla de frecuencia y la parada de la unidad. Puede, también, ser realizado el ensayo para confirmación y ajuste de la actuación de las protecciones externas.

### 3.4.1 GIRO MECÁNICO

El Giro mecánico consiste en abrir levemente los activadores, con el deflector totalmente abierto, por un pequeño intervalo de tiempo, aproximadamente 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.

Es fundamental para la ejecución de este ensayo que cada especialista esté posicionado en lugares estratégicos, junto a la turbina, al generador, a los paneles auxiliares, a los paneles de los reguladores, a los cojinetes y dependiendo del tipo de ambiente se recomienda el uso de radio de comunicación. En el caso que exista algún “rozamiento” indebido este debe ser identificado para corrección. Si ocurre alguna anomalía, ésta debe ser comunicada al responsable de la turbina, para la aplicación del freno mecánico y cierre de la toma de agua, a fin de parar el giro. Por esta razón, la comunicación entre las partes es fundamental.

#### **Procedimiento:**

- Para proceder al giro mecánico, es de fundamental importancia el aviso a todos los participantes de la puesta en servicio, para su posicionamiento estratégico.
- El ensayo consiste en abrir las agujas a través del comando directo. Para esto, ingresar en la IHM al menú de ensayos (Modos de Pruebas), busque comando directo de las agujas, coloque el valor del comando directo en CERO y Habilite el Comando Directo, después ingrese en la IHM al menú de ensayos (Modos de Pruebas), busque comando directo del deflector, coloque el valor del comando directo en CERO y habilite el comando directo.
- Ejecutar la lógica para condiciones permisibles de partida. Es importante observar que hasta esta etapa nada debe ocurrir una vez que el activador fue seleccionado para cero, sin embargo, debe ser comunicado a todos los participantes que el ensayo se inició. Para que este ensayo comience, la traba y el freno mecánico deben estar liberados así como todas las condiciones permisibles de partida. Deshabilite las fallas del sistema de regulación de velocidad.
- Comandar la partida de la turbina a través del comando “Partida / Parada”.
- Establecer una apertura máxima del deflector, escribiendo el valor en pu en el valor de comando directo de la IHM.

- Establecer una apertura del activador, escribiendo el valor en pu en el valor de comando directo de la IHM.
- Observar el inicio del movimiento mecánico.
- Comandar la parada de la turbina.
- Analizar la presencia de algún ruido anormal en el conjunto Turbina – Generador.
- Al final del ensayo, normalizar el parámetro del valor de comando directo de las agujas y deflector para CERO.
- Puede ser necesario repetir este procedimiento hasta que sea normalizada la Turbina y el Generador.
- Normalice los parámetros alterados.

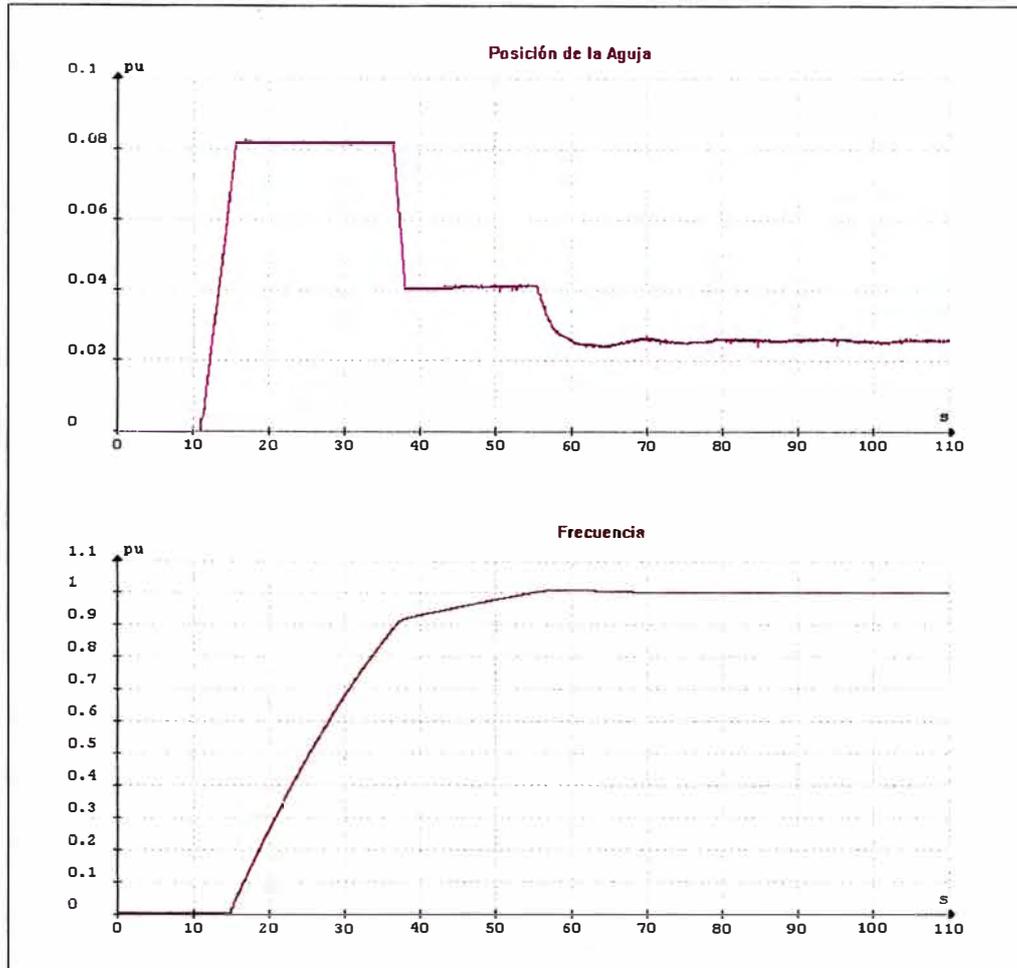
### **3.4.2 PARTIDA GRADUAL**

En este ensayo es efectuada 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%, enseguida 50%, luego con 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 tramo de velocidad. La prueba sólo prosigue cuando se alcance la estabilización de la temperatura de los cojinetes. Otro punto importante de este ensayo es la determinación de los parámetros de apertura del Limitador para Partida 1 y apertura del limitador para Partida 2.

### **3.4.3 PARTIDA LIMITADA – DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE PARTIDA 1 Y PARTIDA 2**

En este ensayo, además de verificar los cojinetes de Turbina y Generador, vamos a obtener la apertura de los Limitadores de Partida 1 y Limitador de Partida 2 y la velocidad de conmutación entre los dos.

El valor seleccionado para el limitador de partida 1 se cumplirá cuando durante el proceso de partida el activador abra hasta este valor. Llegando hasta una determinada rotación, luego el sistema de regulación conmutará el limitador del activador a partida 2 (que debe ser inferior a la partida 1) haciendo que la rotación aumente en un ritmo menor, esto es efectuado para impedir grandes overshoots de frecuencia. La Fig.3.3 a continuación muestra un ejemplo.



**Fig.3.3** Partida automática

Se observa que hasta 90% de la rotación nominal, la aguja se encuentra en 0,08pu. Este es el valor seleccionado para partida 1, después de 90% de la rotación, la aguja cierra a una posición de 0,04pu (valor de partida 2) y luego, alcanza la velocidad nominal y el sistema entra en modo de regulación haciendo que la aguja vaya para el valor que mantenga el sistema en 1pu de rotación en vacío.

**Procedimiento:**

- A través del Limitador de Apertura en Partida 1.
- Impedir que el sistema de regulación conmute para “Partida 2”, escribiendo “2” en el parámetro de velocidad de Partida 2, en la IHM del Sistema de Regulación.
- Establezca la apertura de la aguja, escribiendo el valor en pu en el parámetro del Limitador de Partida 1, en la IHM del sistema de regulación. Por ejemplo, para comandar una apertura de 2%, escribir 0,02.

- Deshabilite las fallas del sistema de regulación de velocidad para evitar que fallas de tiempo de partida bloqueen la unidad generadora, perjudicando el ensayo.
- La llave “Local / Remoto” pasar a Local.
- Comandar la partida de la turbina a través del comando “Partida / Parada” del sistema de regulación.
- Observar que para algunos conjuntos Turbina – Generador, una determinada apertura no mueve el conjunto siendo necesario un valor mayor, apenas para vencer la inercia del conjunto.
- Aumente o disminuya el valor de la apertura de las agujas, conforme la velocidad deseada, escribiendo en el parámetro del Limitador de Partida 1. Aumente con un paso de 1% a 2%, como máximo, y enseguida comande la apertura del limitador de apertura, en el sentido de aumentar o disminuir, a través de comando en la IHM, hasta que la señalización de fin de curso de la referencia del limitador indique activo.
- Observe si existe medición de Velocidad / Frecuencia antes de aumentar la apertura para velocidades mayores.
- Al alcanzar la velocidad de 100%, anote el valor de apertura del activador. Para obtener el valor del Limitador de Partida 2 sume aproximadamente 0,03pu para partida1 sume 0,06pu.

Observación: se puede realizar el mismo ensayo arriba descrito, a través del comando directo del Activador (agujas e deflector), sin embargo, se debe tener una mayor precaución con esta forma, porque se puede comandar cualquier valor en la apertura del mismo, llevando el conjunto a una sobre velocidad.

#### **3.4.4 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD / FRECUENCIA (PICKUP 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 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 potencial que está conectado a la salida de una de las fases del generador. La señal en el panel del sistema de regulación, 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, con la tensión remanente que es normalmente unos pocos Volts, permite la medición de velocidad.

- El sensor de Pick-up - mide la velocidad a través de una rueda dentada que se aproxima y se aleja del sensor, haciendo que se genere una onda cuadrada que es medida por la unidad de procesamiento.

**Procedimiento:**

- Verificar la medición de frecuencia en la IHM del sistema de regulación, si no está coherente, verificar la parámetros.
- Medir la señal que llega en la bornera, referente al TP del Generador, pueden ser unos pocos Volts en corriente alterna. Si existe tensión, siga con el próximo paso, caso negativo verificar si no existe algún cable abierto o desconectado.
- Ajustar el multímetro para medir frecuencia y mida el mismo punto, verificando con otra fuente de referencia la velocidad del conjunto Turbina – Generador.
- Medir con el multímetro ajustado para frecuencia la salida del condicionamiento de señales. Sustituya, si es necesario, el condicionador de señales.
- Verificar el cableado, midiendo en la entrada correspondiente de frecuencia del equipo.
- El ensayo es necesario, para corregir la medición de frecuencia.

### **3.4.5 PARTIDA AUTOMÁTICA**

El ensayo de partida automática es la confirmación de una buena parametrización del sistema de regulación de velocidad, y el inicio de los ensayos dinámicos para ajustes de la malla de control de velocidad.

Básicamente, en este ensayo el objetivo es confirmar los valores del Limitador de Partida 1, Partida 2 y Velocidad de Conmutación de Partida 1 para Partida 2, para obtener rapidez en su partida, poco overshoot, ausencia de oscilaciones y ningún error en el régimen de control de velocidad.

**Procedimiento:**

- Hacer los ajustes necesarios del el Limitador de Partida 1, Partida 2 y velocidad de partida 2, que conmuta de la Partida 1 a la 2. Es posible que sea necesario optimizar estos parámetros.

- Comandar la Partida de la Turbina a través del comando por la IHM de "Partida/Parada".
- Durante este ensayo se debe observar que la indicación de velocidad de la unidad generadora está aumentando. Si esto no ocurre, comande la parada inmediatamente.
- Observar, y estabilizar, la velocidad en su valor nominal, o sea 1pu, con un pequeño overshoot (abajo de 5%) y ausencia de oscilaciones, y error en régimen permanente.
- Registre la partida automática en el Informe de Puesta en Servicio, a fin de comparar el desempeño del sistema de regulación en futuros ensayos. El registro debe tener las siguientes señales: Velocidad, Posición del Activador (Agujas), Posición del Limitador de apertura, Posición del Deflector.

## **AJUSTE DE LA MALLA DE CONTROL DE VELOCIDAD**

La malla de control de velocidad usada por el fabricante puede ser descrita de una forma simplificada en un control PID. Las diferencias básicas con 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 apenas la variable "desvío de frecuencia".
- El PI es sintetizado por un bloque de acción derivativa ( $B_t$ ,  $T_d$ ) en la realimentación, lo que es semejante a un PI (cuya salida es set-point para el Servomotor).
- Hay una acción adicional de feed-forward (para escalonamiento de potencia, que se verá más adelante).

Para obtener un buen control de velocidad es necesario básicamente:

- Ajustar la malla del Activador (Agujas) para obtener una buena característica estática, con una buena respuesta dinámica, tanto para escalones positivos como escalones negativos, en todo el rango operativo. Esto se obtiene ajustando adecuadamente las mallas de control de las agujas y deflector.
- Ajustar los parámetros  $T_n$ ,  $B_t$  y  $T_d$ , para el caso de máxima carga en operación aislada. En la mayor parte de los casos no es factible en Puestas en Servicios, se utiliza entonces los parámetros  $T_w$  (reacción de la columna de agua en el

conducto forzado) y  $2H$  (constante de inercia de la unidad generadora, incluyendo generador y Turbina) para pre-calibrar  $T_n$ ,  $B_t$  y  $T_d$ .

$$T_n = 0,5 T_w \quad (3.1)$$

$$B_t = 1,25 T_w/2H \quad (3.2)$$

$$T_d = 3 T_w \quad (3.3)$$

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

$$B_t = 2,5 T_w/2H \quad (3.4)$$

$$T_d = 6 T_w \quad (3.5)$$

Calcular  $T_w$  y  $2H$  a través de los siguientes parámetros:

$$T_w = Q_o \cdot \Sigma L / H_o g \Sigma A \quad (3.6)$$

$$2H = 5,48 \cdot 10^{-9} J (\text{RPM})^2 / \text{MVA} \quad (3.7)$$

Donde:

$Q_o$ : Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H_o$ : Caída (m)

$\Sigma L / \Sigma A$ : Sumatoria de las longitudes por sus áreas transversales, individualmente calculados.

$G$ : Constante de aceleración de gravedad ( $9,8\text{m}/\text{s}^2$ ).

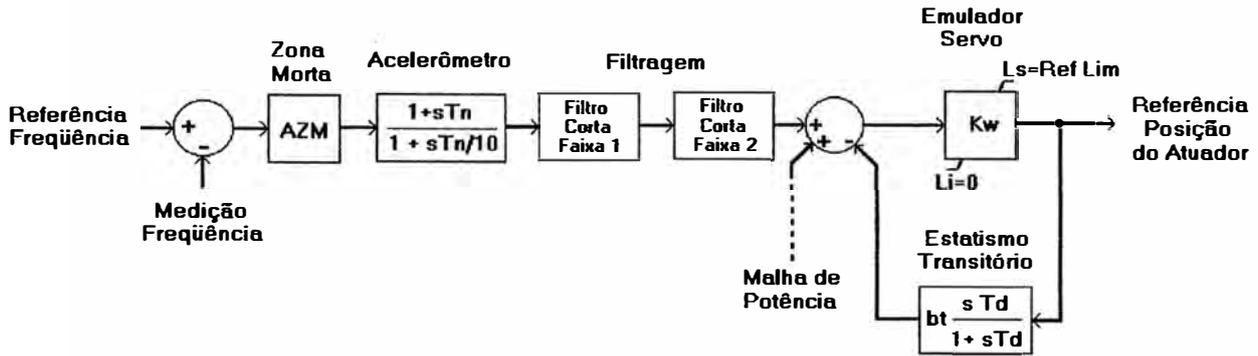
$J$ : Inercia Total del Conjunto ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

RPM: Velocidad de la Turbina

MVA: Potencia Total (MVA)

Parámetros de este orden de magnitud generan buenos controles, desde que haya poco atraso en la parte hidráulica y  $T_w$  y  $2H$  se encuentren en los rangos "normales" [7].

La Fig.3.4 se muestra el diagrama de bloques básico de la malla de control de velocidad.



**Fig.3.4** Malla de control de velocidad

Los rangos de valores típicos para la malla de control de velocidad se encuentran indicados en la tabla N° 3.3:

**TABLA N° 3.3** Rangos de valores típicos de malla de control velocidad

Parámetro	Rango de Valores	Típico	Observación
<b>AZMP</b>	0 a 0,02	0,0	Zona Muerta Positiva de frecuencia
<b>AZMN</b>	0 a 0,02	0,0	Zona Muerta Negativa de frecuencia
<b>Tn</b>	0 a 1.0	0,00	Constante acelerométrica
<b>Corta Faja 1</b>	10 – 120Hz	60Hz	Filtro Corta-Faja en Hertz en la frecuencia señalada
<b>Corta Faja 2</b>	30 – 150Hz	120Hz	Filtro Corta-Faja en Hertz en la frecuencia señalada
<b>Bt</b>	0,1 a 1	Rango	Estatismo transitorio, constante de amortiguamiento
<b>Td</b>	6.0 a 10,0	Rango	Estatismo transitorio
<b>Kw</b>	10 a 50	20	Ganancia de la malla de control de velocidad y potencia

La Dinámica de la malla de control de velocidad puede ser observada a través de la respuesta a un escalón en la referencia de velocidad, se observa así la respuesta del sistema con el menor overshoot y sin generar oscilación.

Se recomienda un escalón de aproximadamente 5% (0,05pu), para analizar la dinámica 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.

**Procedimiento:**

- Pre ajustar los valores de Kw, Bt, Td, Tn, AZM Positiva, AZM Negativa y los filtros Corta Faja 1 y Corta Faja 2 conforme a las fórmulas, tablas y consideraciones descritas anteriormente.
- Habilitar aplicación de escalón en la malla de control de frecuencia en el MENÚ de MODOS DE PRUEBAS, aplicación de Escalones, digite "1", para habilitar.
- Establecer el valor del escalón, por ejemplo "0,05".
- Cuando esté apto para comandar el escalón, aplicar el escalón. Después retire el escalón.
- Observe la dinámica del control de velocidad y reajustar los valores de la malla de control de velocidad.
- Registre el comportamiento obtenido analizando su dinámica.
- Se recomienda no usar Zona Muerta en la Frecuencia, solamente en casos extremos de control.
- La ganancia de la Malla de Control de velocidad Kw, también es la ganancia cuando este en control de potencia, siendo así el ajuste de la malla de potencia también debe contemplar la misma ganancia, se recomienda utilizar como valor inicial 70.
- Al finalizar los ajustes registre escalón de 5% y 3% positivos y negativos en la referencia de frecuencia, cada registro con las señales de posición de activadores, referencia de velocidad y frecuencia.

**3.4.7 PARADA NORMAL**

Comandar después de la partida automática la parada normal, verificando que todos los procedimientos de la Parada sean ejecutados. Medir los tiempos para ajustar los valores de fallas y lógicas asociadas a paradas, principalmente aplicación de frenos y trabas.

**3.4.8 AJUSTE DEL DISPOSITIVO DE SOBREVELOCIDAD MECÁNICO**

El ensayo de ajustar del dispositivo de sobrevelocidad mecánico consiste en elevar la rotación de la Turbina hasta el nivel ajustado en las protecciones contra sobrevelocidad, para comprobar sus actuaciones. Todo conjunto Turbina - Generador, posee una resistencia a sobrevelocidad por un determinado tiempo, normalmente pequeño, del orden de segundos. Se recomienda realizar el ensayo

de sobrevelocidad mecánica con el sistema desexcitado. Este ensayo, por ser perjudicial a la Turbina y al generador debe ser realizado con rapidez, sin someter los equipos a esfuerzos innecesarios.

**Procedimiento:**

- Para proceder al ensayo de ajustar el dispositivo de sobrevelocidad mecánico es de fundamental importancia el aviso a todos los participantes de la Puesta en Servicio, para que puedan posicionarse de forma estratégica.
- El ensayo consiste en abrir la aguja a través del comando directo. Para esto acceder en la IHM al menú de ensayos (Modos de Pruebas), buscar Comando Directo de las agujas, colocar el valor de comando directo igual al valor del limitador de partida 2 y habilitar el Comando Directo.
- Deshabilitar las fallas del sistema de regulación de velocidad.
- Comandar la partida normal de la Turbina, a través del comando “Partida / Parada”;
- Observar el inicio del movimiento mecánico, haga el seguimiento de aumento de la velocidad hasta la actuación de sobre velocidad mecánica.
- **IMPORTANTE:** si el valor estimado para actuar la protección de sobre velocidad mecánica no actúa, comandar inmediatamente la botonera de paro de emergencia.
- Reajustar el dispositivo de sobre velocidad mecánica conforme el manual del dispositivo.
- Analizar la presencia de algún ruido anormal en el conjunto Turbina – Generador.
- Normalice los parámetros alterados en la IHM. No comandar nueva partida mientras los parámetros alterados no sean normalizados.

### **3.4.9 VERIFICACIÓN DE LAS REDUNDANCIAS EXISTENTES EN EL SISTEMA DE REGULACIÓN**

Este ensayo es para evidenciar las redundancias existentes en el sistema de regulación, validando los respectivos funcionamientos. Un sistema de regulación puede tener varios dispositivos en redundancia, tales como CPUs, fuentes de alimentación externas, fuentes de alimentación internas, etc.

Para reguladores que poseen doble canal es importante la parametrización y comprobación de la actuación efectiva de los dos canales de regulación independientes. Esta comprobación es efectuada realizando la conmutación del canal de control (por ejemplo del canal principal al canal respaldo), es importante verificar que existen diversas variables siendo rastreadas, entre ellas la velocidad y la potencia activa. Sin embargo, la variable principal de rastreo será determinada dependiendo del estado de operación en que se encuentra el sistema de regulación.

El sistema de regulación que posee doble canal redundante, es como un equivalente a poseer dos reguladores independientes. Esta redundancia posibilita conmutación automática al canal que se encontraba en stand-by en caso de falla del canal que se encontraba en control, ó realizar conmutación voluntaria vía comando local.

#### **3.4.10 VERIFICACIÓN DE LA DOBLE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN**

Los reguladores tienen 2 alimentaciones distintas. La alimentación principal del sistema de regulación en corriente continua proviene del Servicio Auxiliar de corriente continua de la Central. La segunda alimentación del panel proviene del Servicio Auxiliar de Corriente Alterna de la Central. Esta alimentación es rectificadora, y garantiza la duplicidad de la alimentación para el sistema de regulación en Vcc, o sea en caso de desconexión de uno de los dos alimentadores, el otro asume automáticamente sin ninguna discontinuidad.

La verificación de redundancia de estos alimentadores en el sistema de regulación es realizada desconectando una de las alimentaciones con el sistema de regulación en control y también, verificando si existe alguna perturbación en el Sistema.

##### **Procedimiento:**

- Con el conjunto Turbina - Generador girando en vacío.
- Este ensayo no puede ser realizado con solamente una alimentación.
- Verificar que las dos alimentaciones estén conectadas y con tensión, midiendo sus entradas Vcc y Vca, en los bornes de entrada del panel.
- Después de confirmar la tensión en las dos entradas, confirme el valor de tensión rectificado en la salida de la alimentación Vca.

- Desconectar una de las alimentaciones. Por ejemplo, alimentación Vca.
- Esperar algunos minutos, verificando la normalidad y continuar.
- Conectar nuevamente la alimentación que se desconectó. Por ejemplo, Vca
- Desconectar la otra alimentación. Por ejemplo, Vcc.
- Espere algunos minutos, verificando la normalidad y continuar.
- Conectar nuevamente la alimentación que se desconectó.

### **3.4.11 ENSAYO DE ESTABILIDAD EN RÉGIMEN DE REGULACIÓN EN VACÍO**

El ensayo que verifica la estabilidad en régimen de regulación es simple, basta colocar el conjunto Turbina-Generador girando y registrar su comportamiento en este régimen. Observe la estabilidad de los activadores y frecuencia, no debe estar oscilando.

#### **Procedimiento:**

- Con el conjunto Turbina y Generador girando.
- Registre las señales de frecuencia (velocidad) , de las agujas y del deflector.
- Es posible que existan controles con este tipo de oscilación causada por el ciclo límite de la malla de control, comentar en el informe de Resultados de Puesta en Servicio tales acontecimientos.

## **3.5 ENSAYOS CON CARGA**

### **3.5.1 AJUSTES EN LA TRANSDUCCIÓN DE POTENCIA**

La transducción de potencia activa en el regulador de velocidad es realizada a través del programa aplicativo contenido en la tarjeta CPU, se hace necesario su ajuste a través de las magnitudes que corresponden a los valores convertidos de tensión y corriente terminales, los cuales, a través del algoritmo interno al modelo aplicativo, calcula los valores de potencia activa.

El componente de tensión terminal es convertido cuando la unidad generadora es excitada en vacío, siendo necesario en esta etapa en carga, ajustar los valores de corriente terminal. Para ello, se considera 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  $I_a$  e  $I_c$  en el punto de operación de la unidad generadora 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 estática 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 verificación de la secuencia de fase.

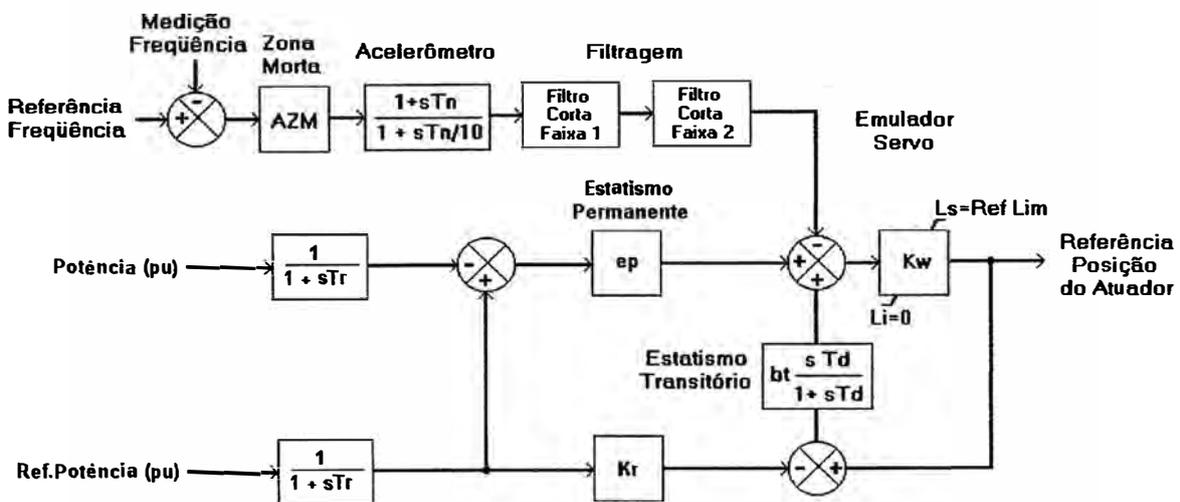
### **3.5.2 AJUSTES DE LA DINÁMICA DE LA MALLA DE POTENCIA**

Un sistema de regulación de velocidad / potencia debe ser capaz de ejecutar tareas tales como:

- Mantener la frecuencia de la unidad generadora en el valor definido por el operador, o mantener una determinada relación entre frecuencia y potencia activa (estatismo) en toda la región de operación.
- Mantener la velocidad dentro de los límites aceptables de trabajo lo mismo en desconexiones intempestivas de la unidad 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.
- Ser provisto de razonable velocidad de respuesta de manera de corregir las variaciones de frecuencia impuestas por variación de carga, generación o por trabamiento.
- Ser capaz de tomar carga de manera lineal y rápida de acuerdo con los comandos del operador, controlador conjunto o control de carga y frecuencia, sin que para esto haga necesario degradar la regulación de la malla de control de velocidad.
- Ser capaz de limitar dinámicamente la máxima apertura de las agujas, independientemente de la eventual necesidad de aumento de potencia mecánica que la malla de control de velocidad imponga.

- Ser capaz de conjugar aguja y deflector de manera que el deflector sea inserido en el menor tiempo posible durante desconexiones de la unidad en turbinas del tipo Pelton.
- Estas funciones, son las más importantes, existen otras funciones con las cuales el sistema de regulación de velocidad / potencia está dotado, como protección, alarma y señalización. Para efectuar todas las funciones citadas arriba, el regulador está compuesto por las diversas mallas de control ajustadas anteriormente, tales como, malla de posición de las agujas, malla de control de velocidad, limitador de apertura, y rampeador de potencia.

En esta etapa se ajusta la malla de control de potencia activa y rampeamiento de carga. De manera similar la malla 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:  $b_t$  carga,  $t_d$  carga y  $t_n$  carga. Ver la Fig.3.5 diagrama de la malla de control de Potencia/ Velocidad abajo:



**Fig.3.5** Malla de control de velocidad/ potencia

Los rangos de valores típicos para la malla de control de potencia se indican en la tabla N° 3.4:

**TABLA N° 3.4** Rangos de valores típicos de malla de control potencia

Parámetro	Rango de Valores	Típico	Observación
<b>Bt Carga</b>	0,1 a 0,8	Rango	Estatismo transitorio, Constante de amortiguación
<b>Td Carga</b>	6,0 a 10,0	Rango	Estatismo transitorio
<b>Kw</b>	10 a 30	20	Ganancia de la malla de Control de Velocidad y Potencia, puede ser reajustado para atender la malla de potencia
<b>Ep</b>	0 a 0,05	0,05	Estatismo Permanente
<b>Kr</b>			

La dinámica de la malla de control de potencia, tal cual la malla de control 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 overshoot y sin generar oscilación.

Se recomienda 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.

#### **Procedimiento:**

- Con los valores del pre-ajuste de velocidad para los parámetros Kw, Btv, Tdv, Tn, AZM Positiva, AZM Negativa y el Filtraje Corta Faja 1 y Corta Faja 2, conforme ajustado anteriormente. Colocar los valores Btc, Tdc y Kw iguales a los valores en vacío.
- Habilitar la aplicación de escalón en la malla de control de potencia en el menú de modos de pruebas.
- Se debe ajustar el valor del estatismo permanente a un valor cerca o igual a cero para generadores en carga aislada y cerca o igual a 0,05pu para generadores sincronizados en el sistema.
- Establecer el valor del escalón de 0,03.
- Registre el comportamiento óptimo analizando su dinámica.
- Retire el escalón.

- Observe la dinámica del control de potencia y reajustar los valores de la malla de control de potencia.
- Ganancia Kw es la ganancia directa de la malla de control de velocidad y de potencia, luego la modificación de Kw debe contemplar las dos mallas.
- Al finalizar los ajustes, registre escalones positivos y negativos en la referencia de frecuencia, cada registro con las señales de posición de las agujas, deflector, referencia de velocidad y frecuencia.

### **3.5.3 ESTABILIDAD DE UNIDAD GENERADORA EN 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. Observe en este ensayo, la búsqueda de la estabilidad y que los activadores y frecuencia no deben estar oscilando. Deben estar estables.

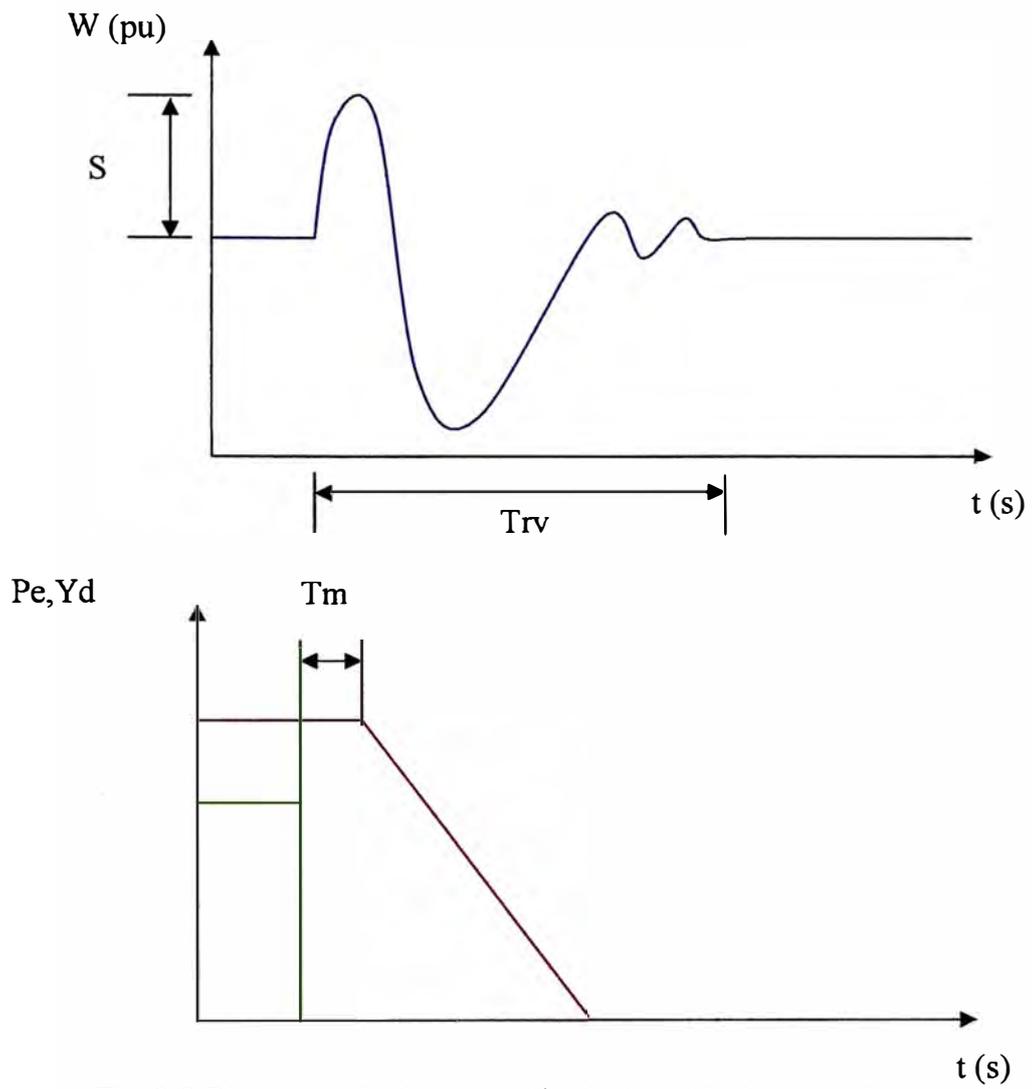
#### **Procedimiento:**

- Con el conjunto Turbina y Generador, girando.
- Registre las señales de frecuencia (velocidad), agujas, deflectores, potencia.
- Es posible que existan controles con este tipo de oscilación causada por el ciclo límite de la malla de control, comente en el informe de Resultados de puesta en servicio tales acontecimientos.

### **3.5.4 ENSAYOS DE DESCONEXIÓN DE UNIDAD GENERADORA**

Los ensayos de desconexión de la unidad generadora tienen por objetivo evaluar el comportamiento del sistema de regulación de velocidad ante la desconexión brusca de la unidad generadora. Esos ensayos se realizan progresivamente a 25, 50, 75 y 100% de carga.

A partir de estas curvas se puede obtener la sobre velocidad alcanzada en cada desconexión, el tiempo de re-establecimiento de la velocidad nominal del grupo (Trv), el tiempo total de cierre del Servomotor (Tf) y el tiempo muerto del sistema de regulación de velocidad (Tr). En la Fig.3.6 se puede identificar cada parámetro arriba mencionado.



**Fig.3.6** Diagrama de desconexión de la unidad generadora

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

A continuación se mencionan los resultados de las pruebas y puesta en servicio del regulador de velocidad de la Central Huinco. Cabe mencionar que las tablas de resultados son los reales de puesta en servicio por lo que no son editables.

#### 4.1 DATOS GENERALES

##### **Informaciones generales - Sistema de regulación**

Fabricante:	REIVAX
Año de Fabricación:	2008
Canales de regulación:	2
Modos de control:	Pe, YD
Sistema de regulación:	Actuador y unidad hidráulica
Cantidad de actuadores:	3 (1 deflector, 2 inyectores)

##### **Informaciones generales - Generador**

Potencia eléctrica:	85 MVA
Frecuencia:	60 Hz

##### **Informaciones generales - Valores base**

Magnitud valor base

Potencia activa Pe:	85 MW
Potencia reactiva Q:	85 MVar

## 4.2 INSPECCIÓN Y VERIFICACIONES INICIALES

### 4.2.1 INSPECCIÓN DEL EQUIPO Y DE LA INSTALACIÓN DEL MISMO

La Inspección de las partes externas y partes internas se muestra en la tabla N° 4.1.

**TABLA N° 4.1** Inspección de las partes externas e internas

Equipo / Componente	Condición	Observaciones
Panel (Partes Externas)	OK	
Panel (Componentes Internos)	OK	

### 4.2.2 VERIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

Son pruebas de punto a punto de todo el cableado, en la tabla N° 4.2 se observan las verificaciones.

**TABLA N° 4.2** Verificación de las conexiones eléctricas

Equipo: Panel control	Observaciones
Borneras de Interfaz	OK
Lógica de Relés	OK
Ventilación	OK
Equipo: PUH y válvulas	Observaciones
Borneras das Interfaz	OK
Bornes	OK
Lógica de Relés	OK
Cableado de las Válvulas	OK
Conexiones de la tubería	OK
Equipo: CT's y TP's	Observaciones
Borneras	OK
Cableado	OK

### 4.2.3 VERIFICACIÓN DE LAS ALIMENTACIONES

En las tablas N° 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 Y 4.7 se muestran las verificaciones de las alimentaciones de todos los sistemas

**TABLA N° 4.3 Alimentación panel – VCC**

Alimentación panel – VCC					
TENSIÓN			220	Δ%	10%
Bornera	Borne	Señal	Valor (Vcc)	Δ%	
CC	CC1/CC2/CC3	(+)	218,5	0,7	
CC	CC4/CC5/CC6	(-)	0	0,7	

**TABLA N° 4.4 Alimentación panel – VCA**

Alimentación panel – VCA					
TENSIÓN			220	Δ%	10%
TENSIÓN SALIDA (VCC)				Δ%	
Bornera	Borne	Fase	Tensión Entrada	Δ%	
CA	CA1/CA2/CA3	φA	232	5,45	
CA	CA4/CA5/CA6	φB	232	5,45	
CA	CA7/CA8/CA9	φC	232	5,45	
Tensión de Salida (Vcc)		122,5	Δ%	2,04	
Observaciones					

TABLA N° 4.5 Alimentación de las válvulas

Alimentación válvulas - VCC					
FUENTE	FN2	Tensión Salida	24 VCC	Δ%	10%
Bomera	Bome	Señal	Valor (Vcc)	Δ%	
AL	AL11	(+)	23,24	3,27	
AL	AL25	(-)	-23,24	3,27	
Observaciones Se debe desligar FN3 y medir en los puntos indicados					
Alimentación válvulas - VCC					
FUENTE	FN3	Tensión Salida	24 VCC	Δ%	10%
Bomera	Bome	Señal	Valor (Vcc)	Δ%	
AL	AL11	(+)	23,07	4,03	
AL	AL25	(-)	-23,07	4,03	
Observaciones Se debe desligar FN2 y medir en los puntos indicados					

TABLA N° 4.6 Alimentación PUH - VCC

Alimentación panel - VCC					
TENSIÓN		220		Δ%	10%
Bomera	Bome	Señal	Valor (Vcc)	Δ%	
U	U25	(+)	218,5	0,7	
U	U26	(-)	-218,5	0,7	
Observaciones					

TABLA N° 4.7 Alimentación bomba VCA

Alimentación bomba VCA1				
TENSIÓN			220	Δ%   10%
Bornera	Borne	Fase	Tensión Entrada	Δ%
U	U1	A	232	5,45
U	U2	B	232	5,45
U	U3	C	232	5,45
Observaciones				
Alimentación bomba VCA2				
TENSIÓN			220	Δ%   10%
Bornera	Borne	Fase	Tensión Entrada	Δ%
U	U7	A	232	5,45
U	U8	B	232	5,45
U	U9	C	232	5,45
Observaciones			Las tomas	

#### 4.2.4 MANDOS Y ESTADOS RECIBIDOS – ENTRADAS DIGITALES

Se verifican las entradas digitales la interfaz planta y RVX, así como las entradas de fallas y mandos. Se simulan los circuitos y se verifican en la bornera correspondiente. En la tabla N° 4.8 se observan las entradas digitales probadas.

TABLA N° 4.8 Verificación de entradas digitales

Mando / Información	Entradas digitales	Bornes	Resultado
Permisible de arranque externo	DI01	ED1/1	OK
Mando de arranque	DI02	ED1/2	OK
Mando de parada	DI03	ED1/3	OK
Aumentar referencia carga / frecuencia	DI04	ED1/4	OK
Disminuir referencia carga / frecuencia	DI05	ED1/5	OK
Aumentar referencia limitador de apertura	DI06	ED1/6	OK
Disminuir referencia limitador apertura	DI07	ED1/7	OK
Operación Local/Remota	DI08	ED1/8	OK
Estado maquina Arrancada/Parada	DI09	ED1/9	OK
Estado disyuntor de grupo S2	DI10	ED1/10	OK
	DI11	ED1/11	OK
Bloqueo eléctrico externo 86E	DI12	ED1/12	OK
Bloqueo mecánico externo 86M	DI13	ED1/13	OK
	DI14	ED1/14	OK
Falla alimentación CC	DI15	ED1/15	OK
Falla alimentación CA	DI16	ED1/16	OK
Falla Tensión limentación SMVI	DI17	ED2/1	OK
Falla SMVI	DI18	ED2/2	OK
Selección PUH Modo Teste	DI19	ED2/3	OK
Selección PUH Modo Automatico	DI20	ED2/4	OK
Permissible de Arranque de PUH para RV	DI21	ED2/5	OK
Falla de Hardware PUH	DI22	ED2/6	OK
Falla Leve PUH	DI23	ED2/7	OK
Falla Grave PUH	DI24	ED2/8	OK
Falla Tensión de Control PUH	DI25	ED2/9	OK
Válvula Esférica Izquierda Cerrada	DI26	ED2/10	OK
Válvula Esférica Izquierda Abierta	DI27	ED2/11	OK
Válvula Esférica Derecha Cerrada	DI28	ED2/12	OK
Válvula Esférica Derecha Abierta	DI29	ED2/13	OK
Válvula de Aislamiento Abierta/Cerrada	DI30	ED2/14	OK
Freno Izquierdo Aplicado/Desaplicado	DI31	ED2/15	OK
Freno Derecho Aplicado/Desaplicado	DI32	ED2/16	OK

#### 4.2.5 MANDOS Y ESTADOS ENVIADOS – SALIDAS DIGITALES

Se verifican las salidas digitales la interfaz planta y RVX, así como las salidas de fallas y mandos. En la tabla N° 4.9 se observan las salidas digitales probadas.

**TABLA N° 4.9 Verificación de salidas digitales**

Mando / Información	Salidas digitales	Bornes	Resultado
Regulador listo Arranque	DI01	SD1/1-2	OK
Mando de arranque	DI02	SD1/3-4	OK
Mando de parada	DI03	SD1/5-6	OK
Potencia Nula	DI04	SD1/7-8	OK
Rearme SMVI	DI05	SD1/9-10	OK
Reserva	DI06	SD1/11-12	OK
Mando de Apertura Valvula de Aislamiento	DI07	SD1/13-14	OK
Mando de Cierre Valvula de Aislamiento	DI08	SD1/15-16	OK
Mando de Apertura Valvula Esferica Izquierda	DI09	SD2/1-2	OK
Mando de Cierre Valvula Esferica Izquierda	DI10	SD2/3-4	OK
Mando de Apertura Valvula Esferica Derecha	DI11	SD2/5-6	OK
Mando de Cierre Valvula Esferica Derecha	DI12	SD2/7-8	OK
Mando Aplicar Freno Derecho e Izquierdo	DI13	SD2/9-10	OK

#### 4.3 PRUEBAS EN AGUA MUERTA

##### 4.3.1 PRUEBAS DE LOS AUXILIARES HIDRÁULICOS

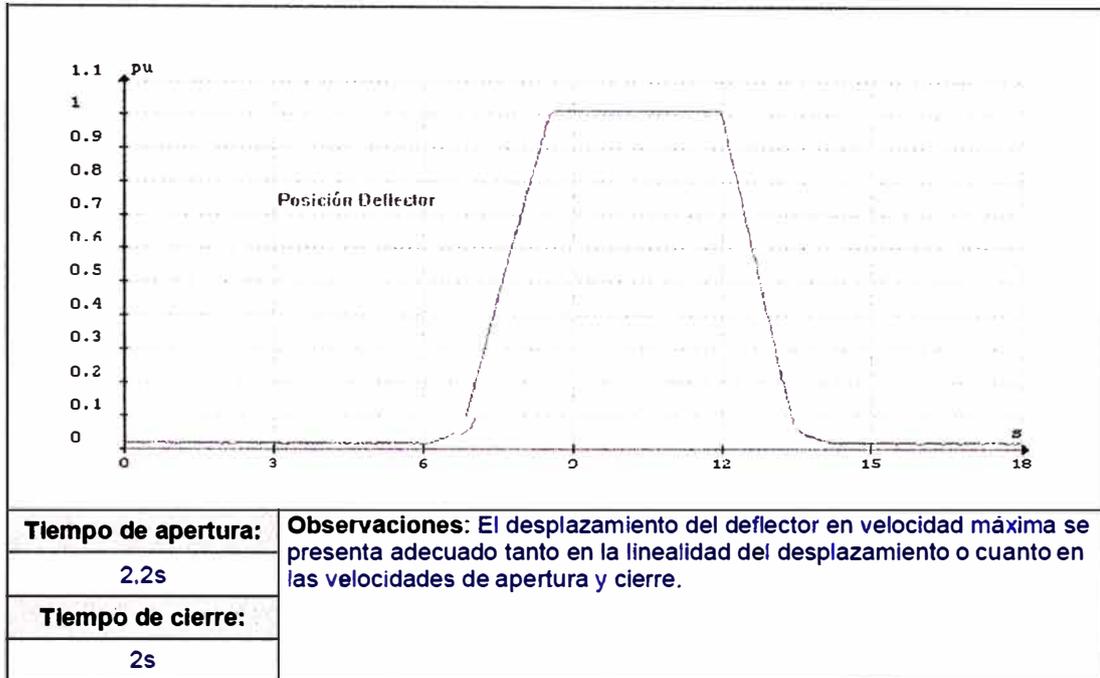
En la tabla N° 4.10 se observa los resultados de las pruebas a los elementos auxiliares hidráulicos.

**TABLA N° 4.10 Pruebas a los auxiliares hidráulicos**

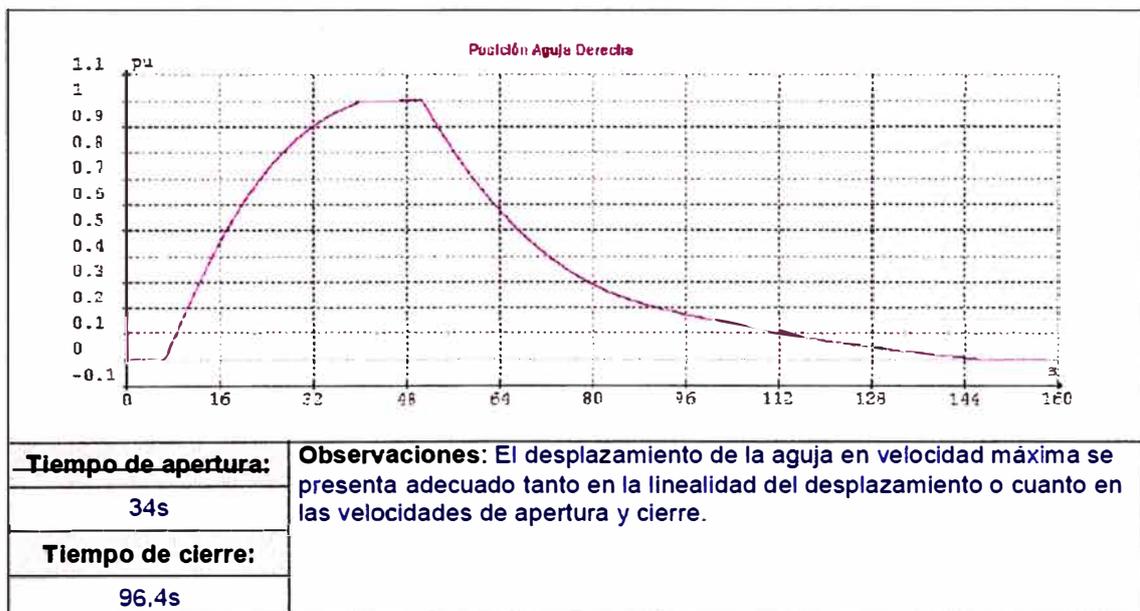
Componente	Resultado	Observaciones
Arranque / Paro	OK	
Parada de Emergencia	OK	
Freno	OK	
Dispositivo de Sobrevelocidad	OK	
Válvula Esférica	OK	
Cierre Emergencia Válvula Esférica	OK	

### 4.3.2 AJUSTES DE LAS MALLAS DE CONTROL DEL ACTUADOR ELETRO-HIDRÁULICO

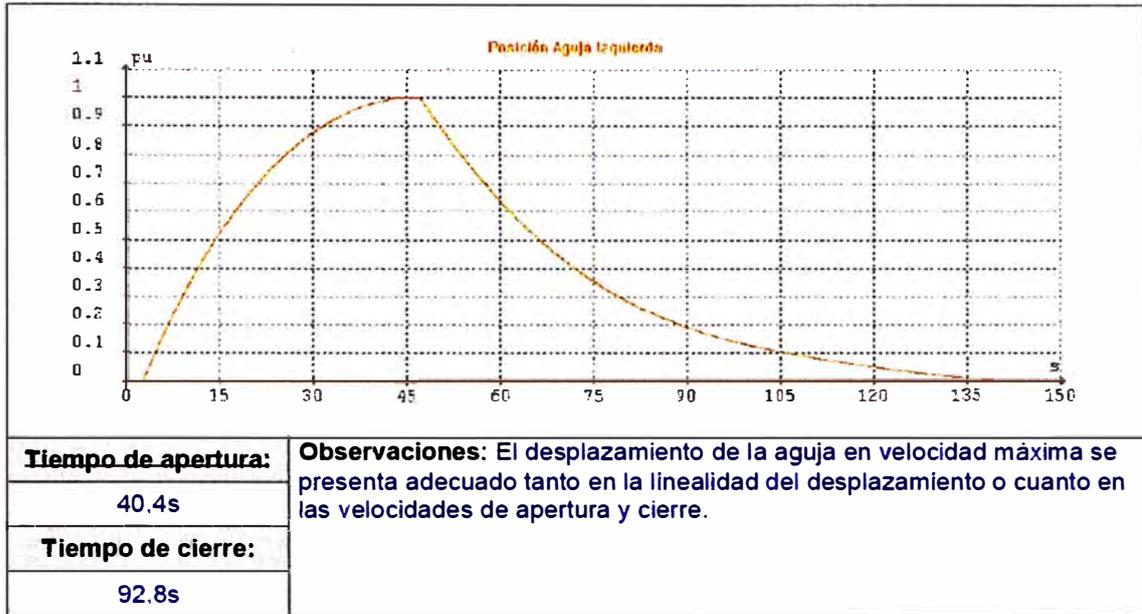
En la Fig.4.1, 4.2 y 4.3 se observa la apertura en máxima velocidad del deflector, aguja izquierda y aguja derecha respectivamente



**Fig.4.1** Apertura en máxima velocidad del deflector

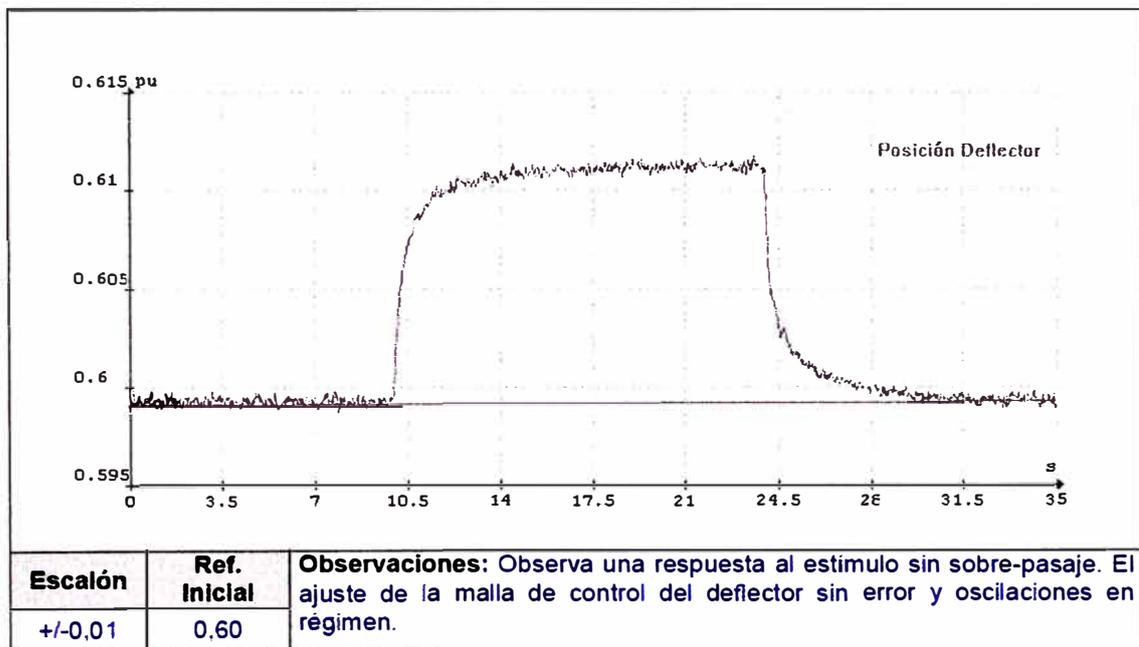


**Fig.4.2** Apertura en máxima velocidad de la aguja derecha

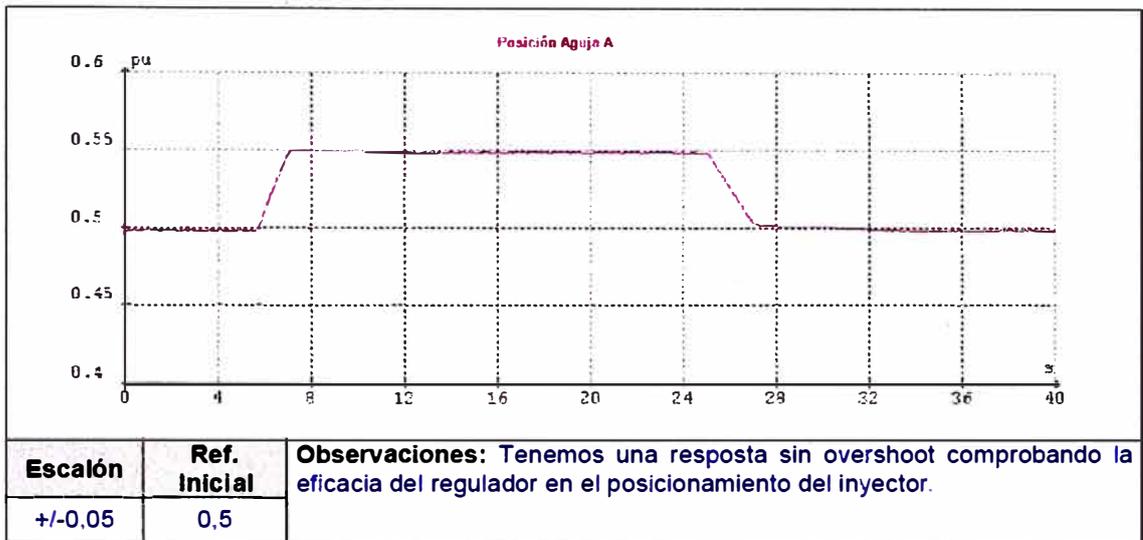


**Fig.4.3** Apertura en máxima velocidad de la aguja izquierda

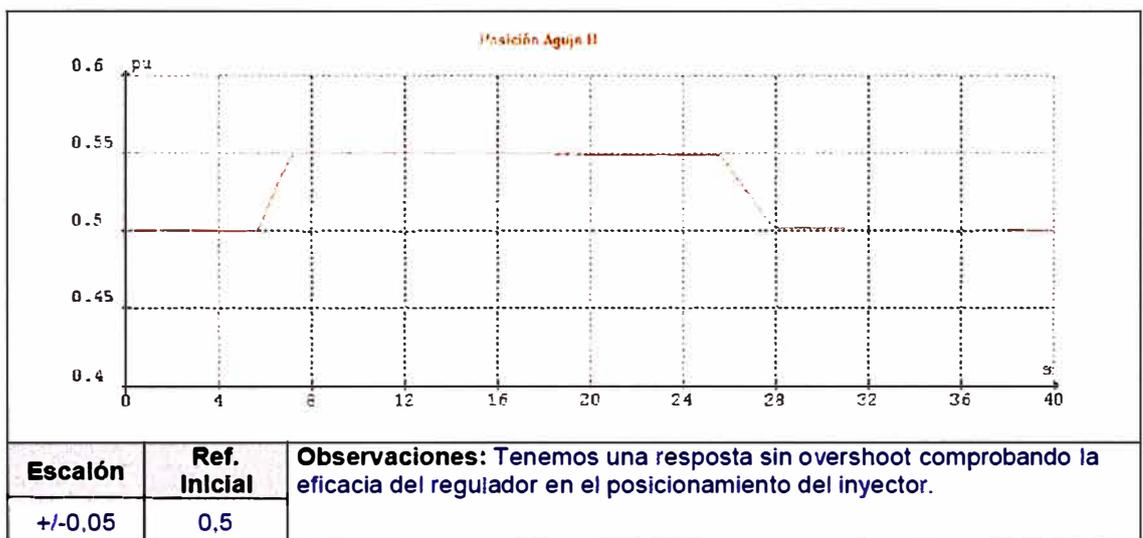
En las Fig. 4.4, 4.5 y 4.6 se puede observar las dinámicas del deflector, aguja derecha y aguja izquierda respectivamente ante la aplicación de un escalón.



**Fig.4.4** Dinámica del deflector – Aplicación de escalón



**Fig.4.5** Dinámica de la aguja derecha – Aplicación de escalón

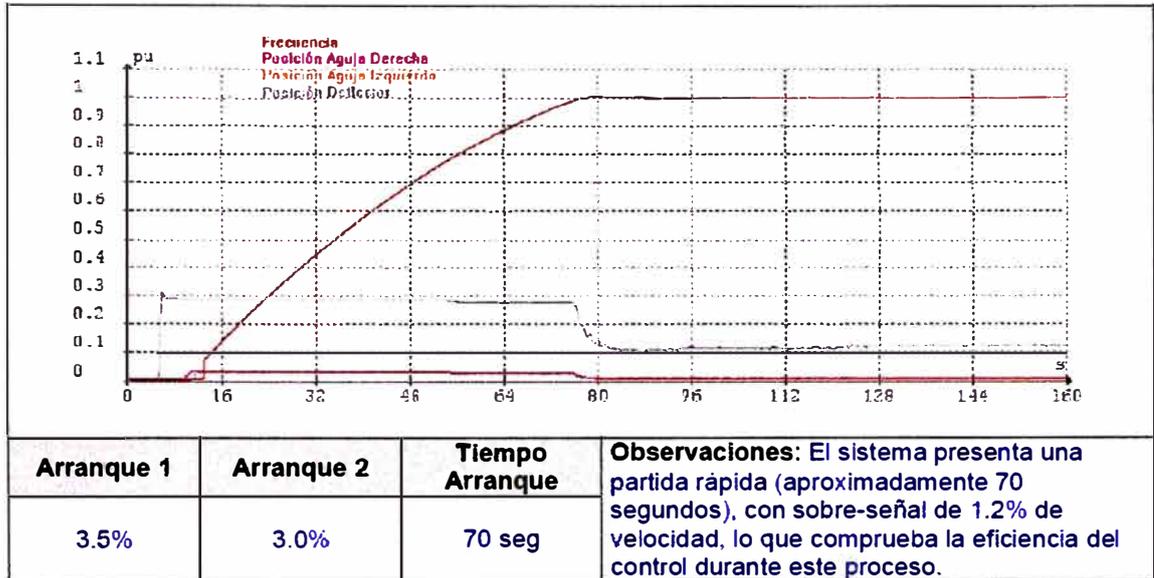


**Fig.4.6** Dinámica de la aguja izquierda – Aplicación de escalón

## 4.4 ENSAYOS DINÁMICOS EN VACÍO

### 4.4.1 ARRANQUE AUTOMÁTICO

En la Fig.4.7 se observa el arranque automático de la unidad en vacío



**Fig.4.7** Arranque automático

#### 4.4.2 AJUSTE DE LAS MALLAS DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD – ESCALÓN EN LA REFERENCIA

En la Fig. 4.8 se muestra el comportamiento del deflector y las agujas, ante la aplicación de un escalón en la referencia de la frecuencia.

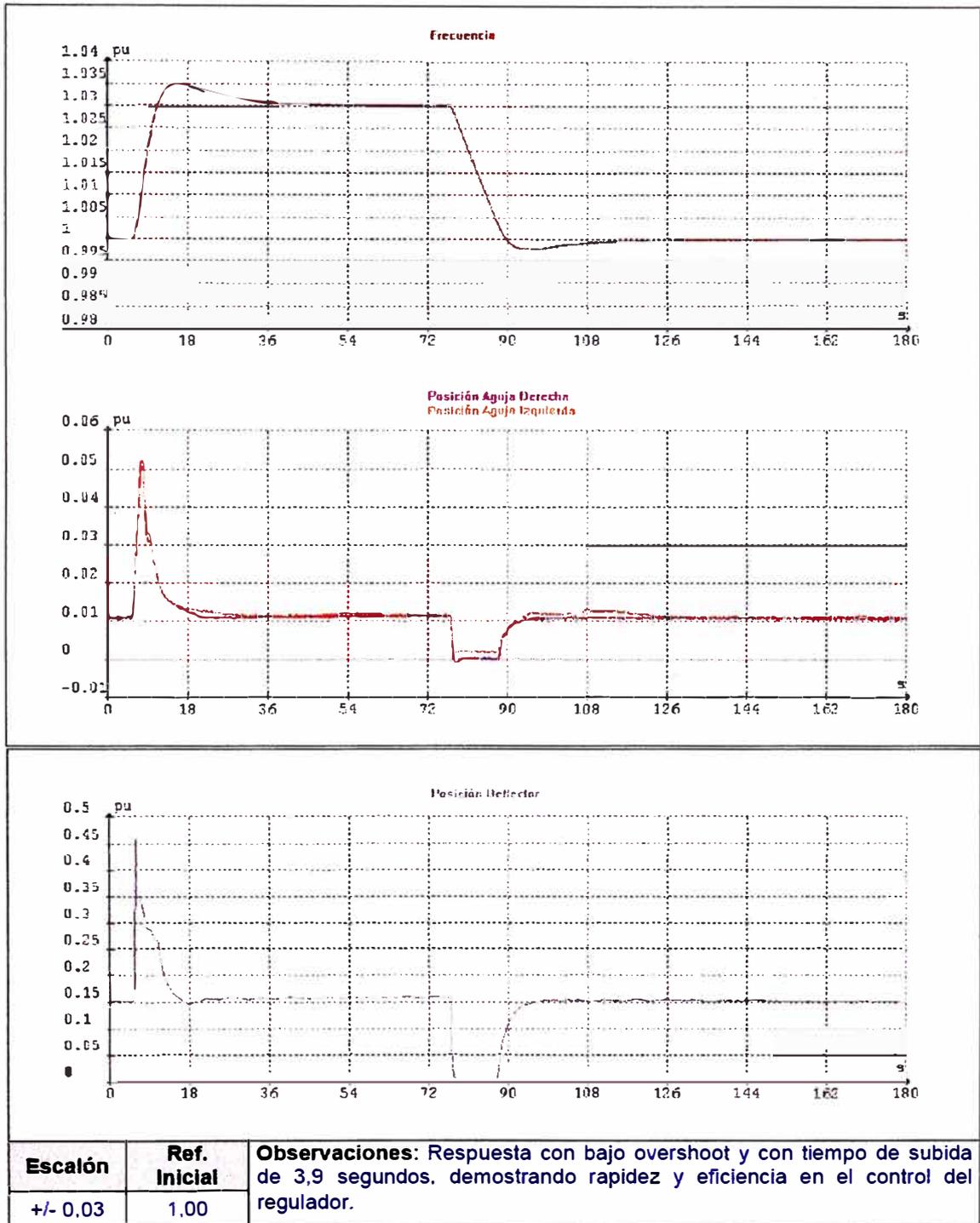
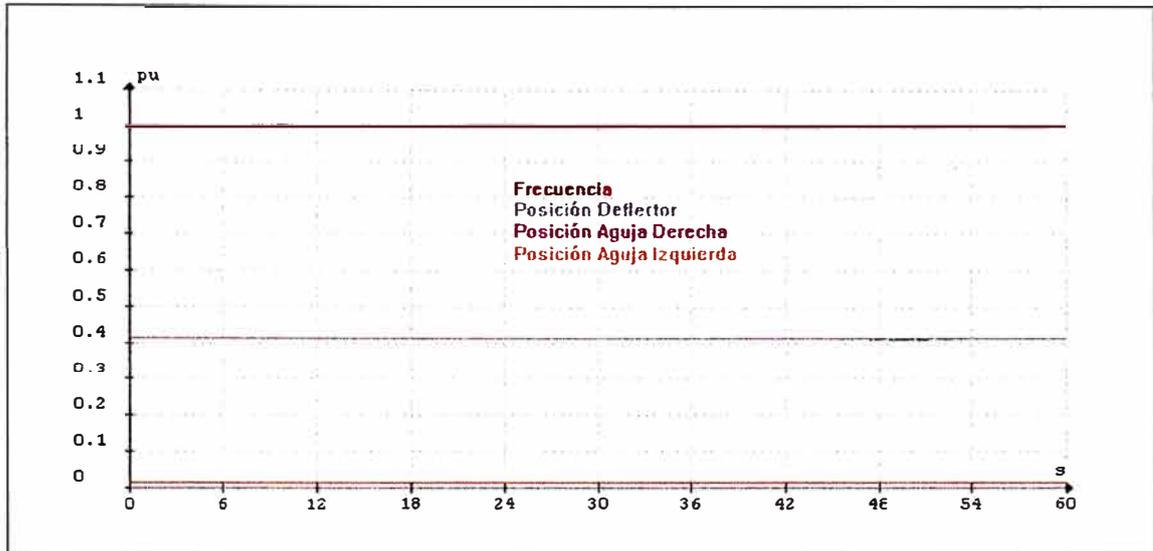


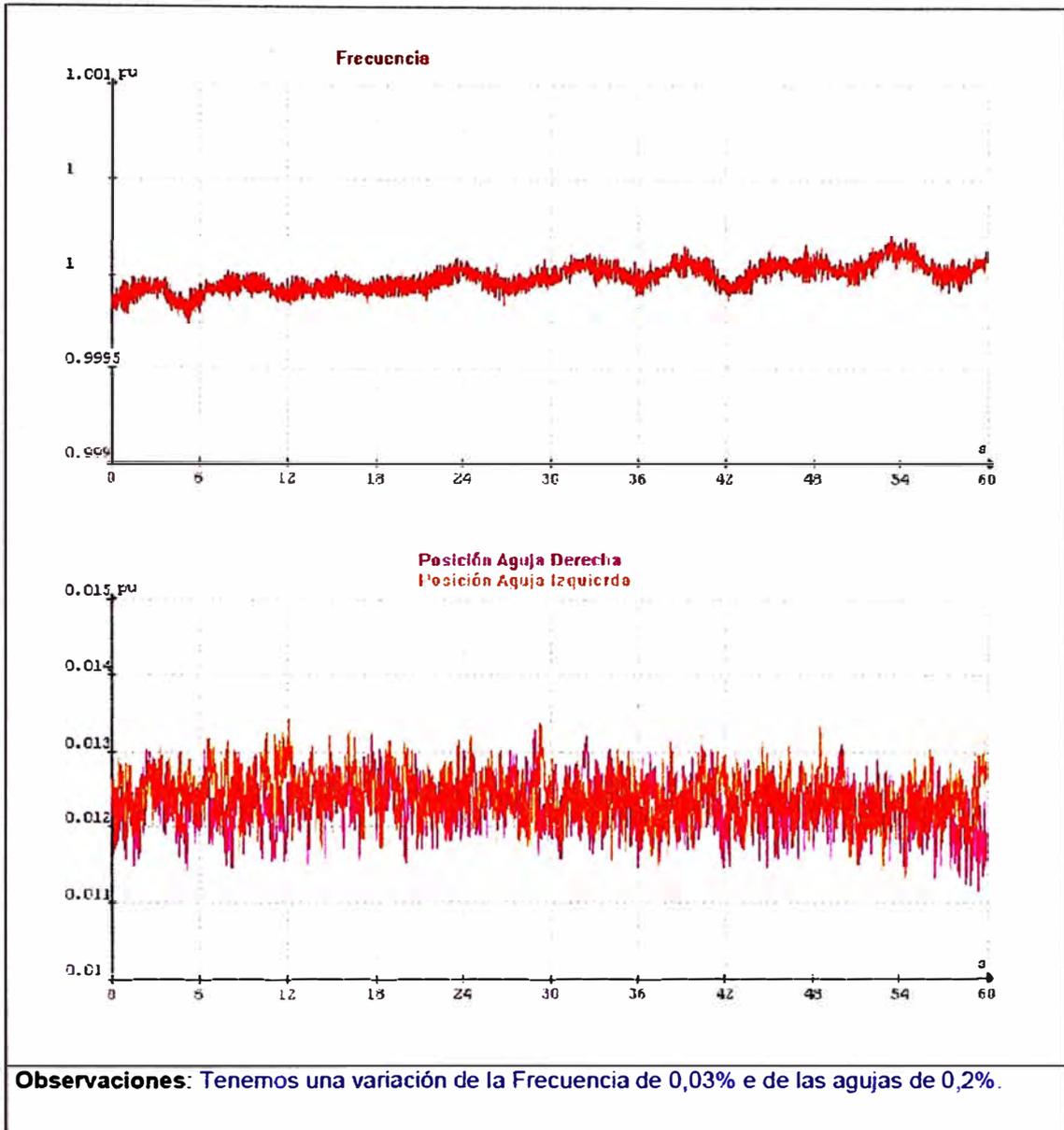
Fig. 4.8 Respuesta de deflector y agujas

#### 4.4.3 MÁQUINA EN RÉGIMEN – ESTABILIDAD DEL CONTROL EN VACIO

En las Fig.4.9 y 4.10 se observan las variaciones de las posiciones del deflector y agujas en condiciones estables de la unidad en vacío.



**Fig.4.9** Estabilidad de posición de deflector y agujas



**Fig.4.10** Estabilidad de posición de aguja derecha e izquierda

#### 4.4.4 VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIAS DEL REGULADOR

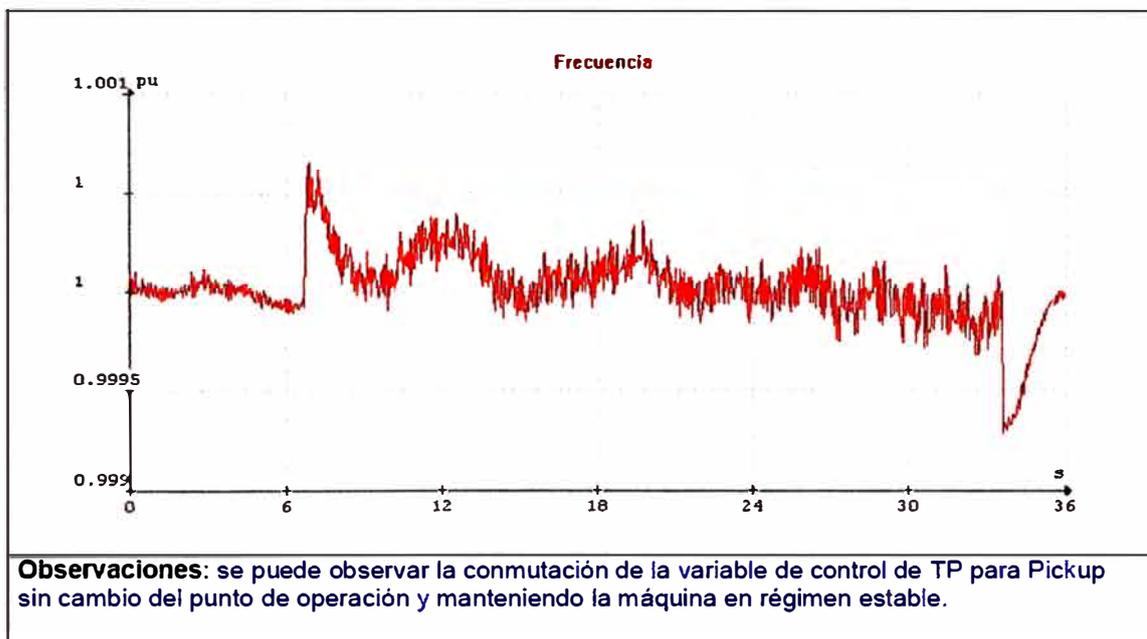
En la tabla N° 4.11 se observa la verificación de la doble alimentación del regulador.

**TABLA N° 4.11** Verificación de las redundancias

Alimentación	Acción	Comportamiento del Sistema	Perturbación
VCC	Desligamiento del disyuntor (alimentación 125Vcc)	OK	
VCA (Retificado)	Desligamiento del disyuntor (Retificador)	OK	

#### 4.4.5 CONMUTACIÓN DE CANALES FRECUENCIA – TP Y PICKUP

En la Fig.4.11 se observa el comportamiento de la frecuencia ante la conmutación de la variable de control de TP a Pickup.

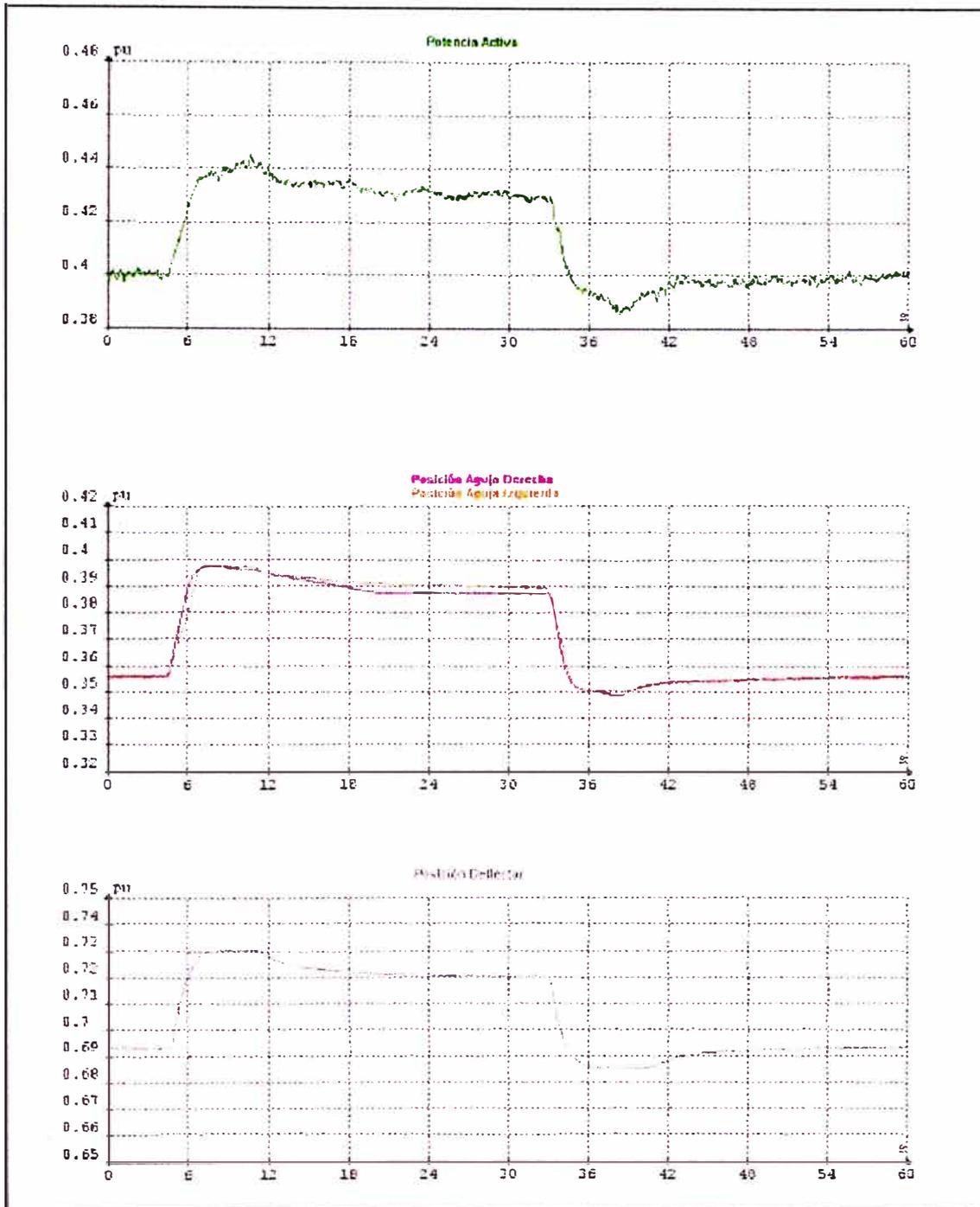


**Fig.4.11** Respuesta de la frecuencia por conmutación de la variable de control de TP a Pickup.

## 4.5 ENSAYOS CON CARGA

### 4.5.1 AJUSTES DE LA MALLA DE POTENCIA

En la Fig.4.12 se observa la dinámica del control de potencia, ante la aplicación de un escalón en la potencia.



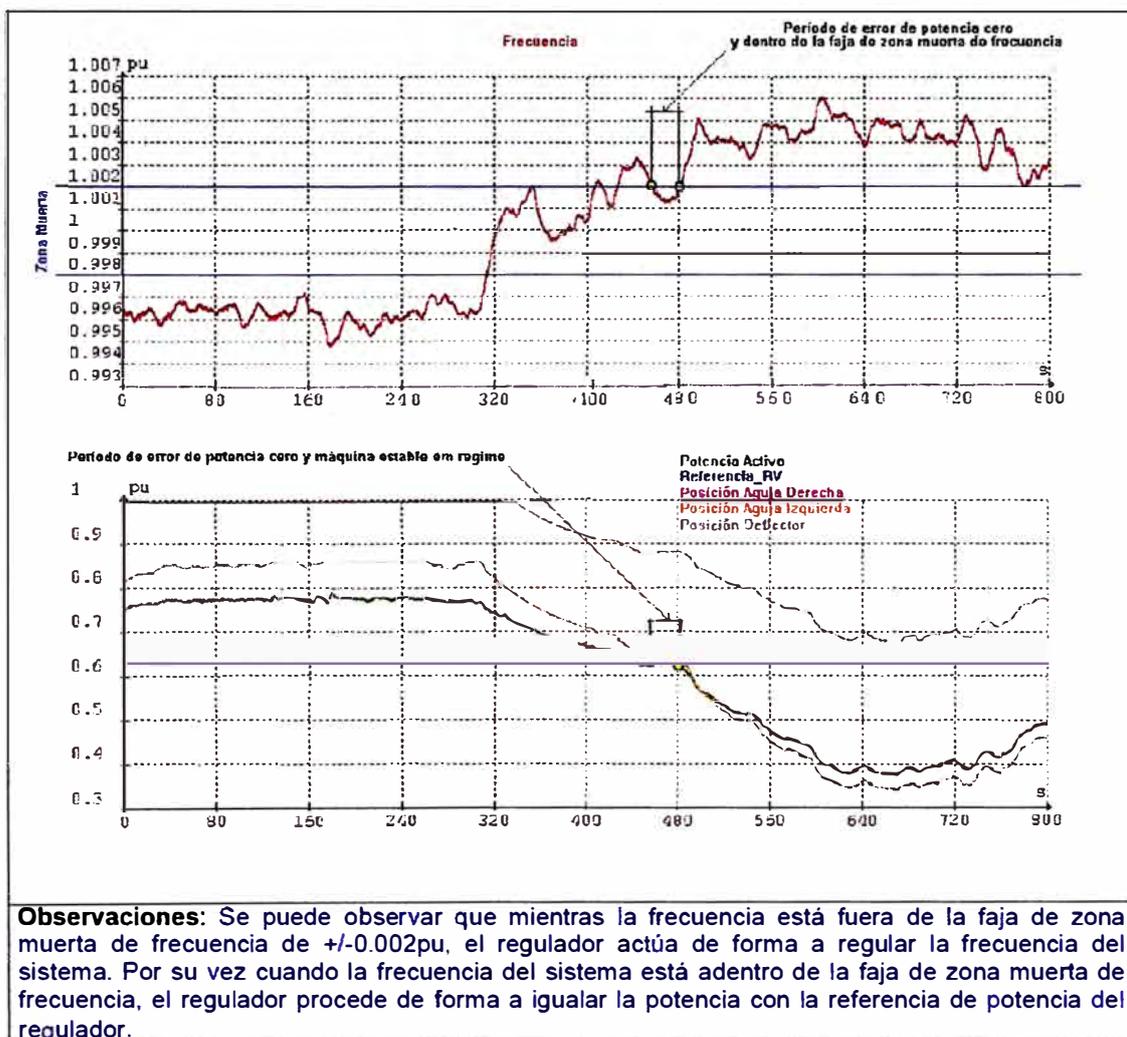
**Escalón** Observaciones: La malla de control de potencia está extremadamente rápida para atender al requisito de respuesta la variación de frecuencia del sistema, con estatismo  $\pm 0,03$  del 1.05%.

**Fig.4.12** Dinámica del control de potencia – Respuesta al escalón

#### 4.5.2 MÁQUINA EN RÉGIMEN – ESTABILIDAD DEL CONTROL EN CARGA CON TODAS LAS FUNCIONES HABILITADAS

En este regulador de velocidad, la malla de potencia y frecuencia en carga obedecen la siguiente lógica: mientras la frecuencia del sistema esté adentro de la banda de zona muerta de frecuencia de  $\pm 0.002$  (parámetro ajustable en el regulador), el regulador de velocidad buscará igualar la potencia con la referencia de potencia, en caso la frecuencia del sistema salga de la banda de  $\pm 0.002$  de zona muerta de frecuencia, el regulador actuará con estatismo permanente de potencia en un 1.05% en la malla de regulación, de forma que contribuye a la regulación de frecuencia del sistema.

En la Fig.4.13 el operador varió la frecuencia del sistema a través de otras unidades generadoras, y se puede observar la actuación del regulador de velocidad nuevo.



**Fig.4.13** Respuesta del regulador ante variación real de frecuencia

### 4.5.3 DESCONEXIONES DE LA UNIDAD GENERADORA

En la Fig. 4.14 y 4.15 se observan los ensayos de desconexiones de la unidad generadora a 25% y 100% de la carga nominal respectivamente.

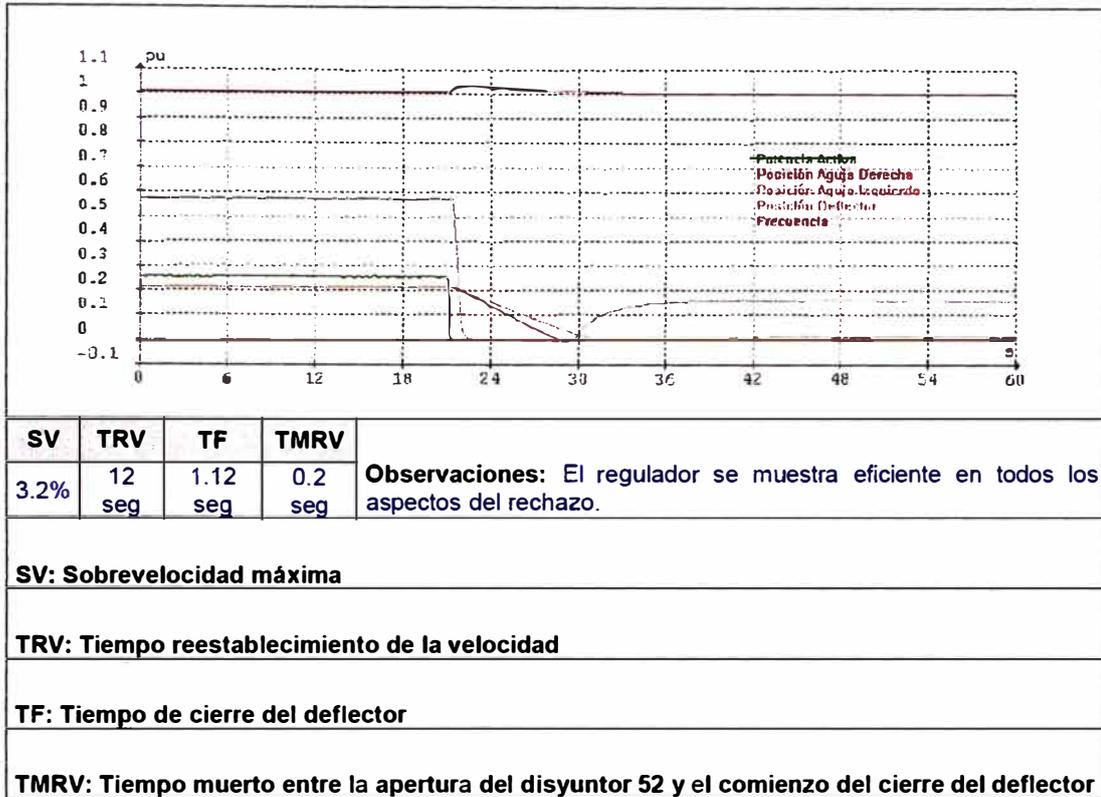


Fig.4.14 Desconexión de unidad– Carga 25%

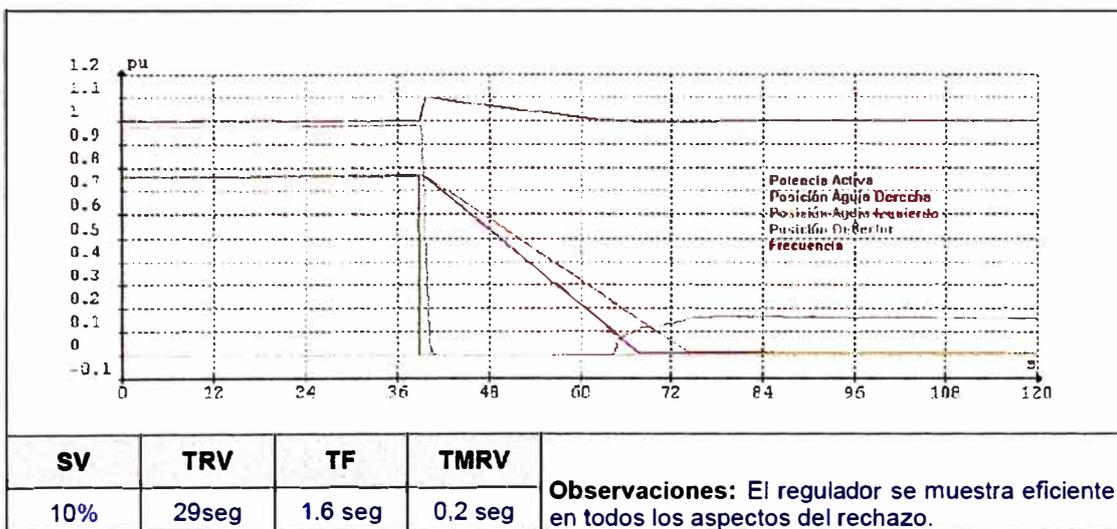


Fig.4.15 Desconexión de unidad– Carga 100%

#### 4.5.4 TABLAS DE PARÁMETROS

A continuación se muestran las tablas con los parámetros ajustados en el regulador de velocidad.

**TABLA N° 4.12** Parámetros de control de la aguja derecha

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repre	Unidad
Control de la Aguja 1	Ganancia Proporcional	60	Kp	-
	Ganancia Integral	0	Ki	-
	Límite Superior Integrador	1	Ls	pu
	Límite Inferior Integrador	-1	Li	pu
	Límite Máximo – Limitador	1	LimMax	pu
	Límite Mínimo – Limitador	-1	LimMin	pu
	Avanço	0,01	Av	
	Atraso	0,01	At	
Salida de Control Aguja 1	Ganancia de salida de control Distribuidor - Positivo	4	-	V/pu
	Offset de salida de control	6	-	V

**TABLA N° 4.13** Parámetros de control de la aguja izquierda

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repre	Unidad
Control de la Aguja 2	Ganancia Proporcional	60	Kp	-
	Ganancia Integral	0	Ki	-
	Límite Superior Integrador	1	Ls	pu
	Límite Inferior Integrador	-1	Li	pu
	Límite Máximo – Limitador	1	LimMax	pu
	Límite Mínimo – Limitador	-1	LimMin	pu
	Avanço	0,01	Av	
	Atraso	0,01	At	
Salida de Control Aguja2	Ganancia de salida de control Distribuidor - Positivo	4	-	V/pu
	Offset de salida de control	6	-	V

TABLA N° 4.14 Parámetros de control del deflector

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repre	Unidad
Control del Deflector	Ganancia Proporcional	13	Kp	-
	Ganancia Integral	5	Ki	-
	Límite Superior Integrador	0,05	Ls	pu
	Límite Inferior Integrador	-0,05	Li	pu
	Límite Máximo – Limitador	1	LimMax	pu
	Límite Mínimo – Limitador	-1	LimMin	pu
Salida de Control del Deflector	Ganancia de salida de control Distribuidor - Positivo	5	-	V/pu
	Ganancia de salida de control Distribuidor - Negativo	5	-	V/pu
	Offset de salida de control	5	-	V
	Avanço	0,05	Av	
	Atraso	0,005	At	

TABLA N° 4.15 Parámetros de la malla de control de velocidad

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repres	Unidad
ZM	Zona Muerta	0,002	ZM	pu
Acelerómetro	Acelerómetro al vacío	1,5	Tn_v	s
Filtro Corta Faja 1	Filtro corta faja	50	F1	Hz
Filtro Corta Faja 2	Filtro corta faja	100	F2	Hz
Emulador Servo-motor	Ganancia del emulador del servo-motor	70	Kw	-
Estatismo Transitorio	Bt al vacío	0,5	Bt_v	-
	Td al vacío	10	Td_v	s

TABLA N° 4.16 Parámetros de la malla de control de potencia

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repres	Unidad
Acelerómetro	Acelerómetro en carga	1,5	Tn_c	s
Constante de Tiempo 1	Constante de tiempo en la medición de potencia	3	Tf	s
Constante de Tiempo 2	Constante de tiempo en la medición de ref. de potencia	1	Tg	s
Estatismo Permanente	Operación Interligada	0,0105	Ep	-
	Operación Aislada	0,0100	Ep	-
Estatismo Transitorio	Bt en carga	0,1	Bt_c	-
	Td en carga	5	Td_c	s
Kr	Ganancia del Rampeador	1	Kr	-

**TABLA N° 4.17** Parámetros de la curva apertura versus potencia

Emulador Servo-motor	Ganancia del emulador del servo-motor		70	Kw	
Curva Apertura X Potencia					
Parámetro	Valor adoptado	Unidad	Parámetro	Valor adoptado	Unidad
P1	0.025	pu	Yd1	0.025	pu
P2	0.16	pu	Yd2	0.133	pu
P3	0.275	pu	Yd3	0.229	pu
P4	0.38	pu	Yd4	0.325	pu
P5	0.47	pu	Yd5	0.42	pu
P6	0.55	pu	Yd6	0.508	pu
P7	0.63	pu	Yd7	0.59	pu
P8	0.7	pu	Yd8	0.675	pu
P9	0.765	pu	Yd9	0.77	pu
P10	0.835	pu	Yd10	1.00	pu

**TABLA N° 4.18** Parámetros de señales en registro y gatillo

Señales en Registro			
Grandeza	Unidad	Gatillos	
Frecuencia	pu		
Potencia Activa	pu	Manual	Deshabilita
Potencia Reactiva	pu	Degrau	Deshabilita
Posición Aguja Derecha	pu	Abre/Cierra 41	Deshabilita
Posición Aguja Izquierda	pu	Abre/Cierra 52	Habilita
Posición Deflector	pu	Falla Leve	Deshabilita
Referencia RV	pu	Falla Grave	Habilita

**TABLA N° 4.19** Parámetros de ajustes de las referencias RV

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repres	Unidad
Referencia de Velocidad	Referencia de velocidad máxima	1,1	-	pu
	Referencia de velocidad mínima	0,9	-	pu
	Tasa de referencia de velocidad	0,1	-	%/s
	Tasa Asumir velocidad	2	-	%/s
Referencia de Posición	Referencia de posición máxima	1	-	pu
	Referencia de posición mínima	0	-	pu
	Tasa de referencia de posición	1	-	%/s
	Tasa Asumir posición	1	-	%/s
Referencia de Potencia	Referencia de potencia máxima	1	-	pu
	Referencia de potencia mínima	0,025	-	pu
	Tasa de referencia de potencia	1	-	%/s
	Tasa Assumir potencia	1	-	%/s
Referencia del Limitador	Tasa de referencia del limitador	1,5	-	%/s

TABLA N° 4.20 Parámetros de ajuste de la lógica RV

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repres	Unidad
Potencia	Potencia Inicial	0,55	-	pu
	Tasa Tomada de Carga	10	-	%/s
	Partida 1	0,035	-	pu
	Partida2	0,03	-	pu
Abertura	Abertura inicial	0,35	-	pu
	Comuta	0,75	-	
	Pickup Aplica Freno	0,5	-	pu
	Histerese Freno	0,01	-	pu
	Pickup desaplica Freno	0,2	-	pu
	Histerese Freno	0,01	-	pu
	Pickup Agujas cerradas	0,01	-	pu
	Histerese Agujas Cerradas	0,002	-	pu

TABLA N° 4.21 Parámetros de ajustes de la transducción - RV

Parámetros					
IHM	Descripción	Valor CPU1	Valor CPU2	Repres	Unidad
Posición de la Aguja 1A	E1	3,321	3,314	-	-
	E2	6,399	6,386	-	-
	S1	0	0	-	-
	S2	1	1	-	-
	Frecuencia de Corte	2	2	-	-
Posición de la Aguja 1B	E1	3,09	3,097	-	-
	E2	6,237	6,244	-	-
	S1	0	0	-	-
	S2	1	1	-	-
	Frecuencia de Corte	2	2	-	-
Posición del Deflector	E1	8,725	8,800	-	-
	E2	4,15	4,200	-	-
	S1	0	0	-	-
	S2	1	1	-	-
	Frecuencia de Corte	5	5	-	-
Frecuencia – TP	Frecuencia nominal	60	-	-	Hz
	Fnoch1	2,8	-	-	Hz
	Fnoch2	16,8	-	-	Hz

	Constante de tiempo W TP	0,05	-	S
	Rearme		-	0/1
	Habilita/Deshabilita Medición		-	0/1
Frecuencia – Pickup2	Frecuencia nominal	51,4	-	Hz
	Fnoch1	8,57	-	Hz
	Fnoch2	17,13	-	Hz
	Constante de tiempo W pickup1	0,3	-	S
	Rearme		-	0/1
	Habilita/Deshabilita Medición		-	0/1
	Frecuencia nominal	51,4	-	Hz
	Fnoch1	8,57	-	Hz
	Fnoch2	17,13	-	Hz
Frecuencia – Pickup1	Constante de tiempo W pickup1	0,3	-	S
	Rearme		-	0/1
	Habilita/Deshabilita Medición		-	0/1
	Ganancia Nivel		-	-
Transducción de Nivel Montante	Offset Nivel		-	M
	Constante de Tiempo		-	S
	Nivel Montante		-	M
	Ganancia Nivel		-	-
Transducción de Nivel Jusante	Offset Nivel		-	M
	Constante de Tiempo		-	S
	Nivel Jusante		-	M
	E1	0	-	W
	E2	187	-	W
Transducción de Potencia Reactiva	S1	0	-	Pu
	S2	0,55	-	Pu
	Frecuencia de Corte	20	-	Hz
	E1	0	-	Var
	E2	187	-	Var
Transducción de Potencia Activa	S1	0	-	Pu
	S2	0,55	-	Pu
	Frecuencia de Corte	20	-	Hz
	E1	0	-	V
	E2	173,75	-	V
Transducción Tensión Terminal	S1	0	-	Pu
	S2	1	-	Pu
	Frecuencia de Corte	20	-	Hz

Transducción Corriente Terminal	E1	0	-	V
	E2	2,94	-	V
	S1	0	-	pu
	S2	1	-	pu
	Frecuencia de Corte	20	-	Hz
Transducción de presión aguas abajo conducto izquierdo	E1	0	-	-
	E2	5	-	-
	S1	0	-	-
	S2	320	-	-
	Frecuencia de Corte	20	-	-
Transducción de presión aguas abajo conducto derecho	E1	2	-	-
	E2	6,1	-	-
	S1	0	-	-
	S2	120	-	-
	Frecuencia de Corte	20	-	-

**TABLA N° 4.22 Parámetros de ajuste de relé – RV**

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repres	Unidad
Relé de Máquina Parada	Pickup	0,8	-	pu
	Histéresis	0,01	-	pu
	Tiempo	1	-	s
Relé de Potencia Activa Nula	Valor de potencia nula	0,06	-	pu
	Histéresis de potencia nula	0,01	-	pu

**TABLA N° 4.23 Parámetros de ajustes de falla – RV**

Parámetros				
IHM	Descripción	Valor	Repres	Unidad
Salida de Fallas Leves/Graves	Habilita/Deshabilita	0	-	0/1
	Delta Distribuidor		-	pu
Sobreadvertencia	Tiempo		-	s
	Habilita/deshabilita	0	-	0/1
Posición del Deflector	Límite máximo	1,1	-	pu
	Límite mínimo	-0,1	-	pu
	Tiempo	1	-	s
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
Toma / Retirada	Tiempo falla tomada de carga	300	-	s

<b>de Carga</b>	Tiempo falla retirada de carga	150	-	s
<b>Arranque / Parada</b>	Tiempo de Arranque	225	-	s
	Tiempo parada	300	-	s
	Tiempo falla Arranque/parada	2	-	s
<b>Sobre-velocidad</b>	Pickup	1,22	-	pu
	Histéresis	0,01	-	pu
	Tiempo	0,5	-	s
<b>Pérdida total de medición de Frecuencia</b>	Tiempo pérdida total de frecuencia	3	-	s
<b>Perdida Medición Y Agujas</b>	Y Aguja 1 < Y Aguja1 Perdida		-	pu
	Tiempo falla de nivel 1		-	s
	Habilita/deshabilita	0	-	0/1
<b>Perdida Medición W Arranque</b>	Valor Yd Habilita Falla Medición W		-	pu
	Valor W Actua Perdida Medición W		-	pu
	Tiempo Falla Medición W		-	s
<b>Ajuste de Frecuencia - TP</b>	Max Delta W	0,3	-	pu
	Tolerancia rearme	0,1	-	pu
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
<b>Ajustes de Frecuencia – Pickup 1</b>	Max Delta W	0,3	-	pu
	Tolerancia rearme	0,1	-	pu
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
<b>Ajustes de Frecuencia – Pickup 2</b>	Max Delta W	0,3	-	pu
	Tolerancia rearme	0,1	-	pu
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
<b>Error Referencia X. Posición Aguja 1</b>	Pickup	0,35	-	pu
	Histéresis	0,01	-	pu
	Tiempo	300	-	s
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
<b>Error Referencia X. Posición Aguja 2</b>	Pickup	0,35	-	pu
	Histéresis	0,01	-	pu
	Tiempo	300	-	s
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
<b>Transducción Tensión Terminal</b>	Tensión Terminal	173,75	-	V
	Erro	0,2	-	pu
	Tiempo	0,05	-	s
	Habilita/deshabilita	1	-	0/1
<b>Transducción Corriente Terminal</b>	Corriente	2,94	-	V
		0,3	-	pu
		0,05	-	s
	Habilita/deshabilita		-	0/1
<b>Potencia Mínima</b>	Potencia	0,353	-	pu
	Tiempo de atuación	1800	-	s

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] REIVAX, "Manual de operación y mantenimiento del Sistema de Regulación de Velocidad F09032-02-02-03-01-Rev 001", Brasil 2009.
- [2] REIVAX, "Manual Técnico Actuador Hidráulico del Sistema de Regulación de Velocidad F09032-02-02-02-01-Rev 001", Brasil 2008.
- [3] REIVAX, "Manual de Software del Sistema de Regulación de Velocidad F09032-02-02-04-01-Rev 003", Brasil 2009.
- [4] REIVAX, "Manual del usuario CPXCan 3.0 Controlador Programable CP-02-65-02-01-Rev 003.E02", Brasil 2007.
- [5] REIVAX, "Manual del usuario MultiCan 2.1 Módulo de Adquisición y Control CP-02-82-02-01-02-Rev 007-E01", Brasil 2007.
- [6] L. Rouco, J.L. Zamora, M. Gonzales, "Ajuste de reguladores de turbinas hidráulicas con técnicas de estimación de parámetros", Universidad pontificia comillas. España 2009.
- [7] F.L. Pagola, L. Rouco, J.L. Zamora, "Modelos de centrales hidráulicas para estudios de estabilidad", Universidad pontificia comillas. España 2009.
- [8] John J. Grainger y William D. Stevenson, "Análisis de sistemas de potencia", North Carolina State University. Unitates States 1996.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

1. La modernización de los reguladores de velocidad se realizó en tres etapas, teniendo en cuenta el presupuesto disponible para cada sistema. Primero se modernizó el regulador de velocidad del grupo 1, luego el grupo 3 y finalmente los grupos 2 y 4 simultáneamente.  
El costo por cada unidad fue de US\$ 500,000.00 aproximadamente.
2. Aun cuando los motivos principales de la modernización de los reguladores de velocidad obedecen a razones técnicas, debido a las progresivas fallas y falta de repuestos por ser un sistema antiguo que ya cumplió su vida útil, sin embargo desde el punto de vista económico se observó que también era conveniente la modernización de los reguladores de velocidad, esto se confirmó con los resultados del VAN y el TIR.
3. El personal que participó durante la implementación del proyecto, ha sido capacitado y constituye un soporte técnico garantizado, capaces de realizar cualquier diagnóstico en el sistema de regulación de velocidad en caso ocurriese una falla, no siendo necesario los servicios de especialistas terceros. Esta especialización lograda representa un ahorro de costos en los eventos relacionados a fallas de los equipos especiales de control.
4. Con la implementación de los nuevos reguladores de velocidad, se ha logrado reducir a cero el número de intervenciones de mantenimiento por falla en el regulador de velocidad. Asimismo ahora se cuenta con un lote de repuestos principales en caso se requiera cambiar componentes.
5. El sistema de regulación de velocidad de la Central Huinco, se puede implementar en otras Centrales Hidráulicas de EDEGEL como Matucana, Moyopampa y Huampaní, que en la actualidad operan con reguladores de velocidad de similar antigüedad a los que habían en Huinco. Incluso se podría reemplazar el regulador de la Central

Callahuanca que es del año 2005, pero que ya presenta problemas de repuestos en la parte de control.

6. El sistema de regulación de velocidad ha quedado listo para integrarse a un sistema de arranque y parada automático de la unidad generadora, ya que es un sistema versátil, cuya lógica de control es modificable mediante software, capaz de adaptarse según las necesidades de la operación de la unidad, de tal forma que el operador de la Central cuente con herramientas que mejoren su proceso de operación.
7. Con la implementación del nuevo sistema de regulación de velocidad se ha logrado obtener las siguientes ventajas principales:
  - Sistema de bajo costo de mantenimiento
  - Sistema de mayor precisión de medición y respuesta.
  - Mayor confiabilidad en la regulación de velocidad
  - Fácil manejo, con interfaces amigables para el usuario
8. El nuevo regulador de velocidad cuenta con componentes de tecnología actual, tales como son los controladores, interfaces de comunicación, paneles IHM, etc. que tienen muchas ventajas técnicas que permiten un mejor desempeño de la operación del grupo generador, así como el cumplimiento normativo que se exige en la operación del sistema interconectado.
9. Los resultados de las pruebas de puesta en servicio fueron satisfactorios, tal como se muestra en el presente trabajo, en ese sentido a la fecha el regulador de velocidad viene operando de forma confiable.
10. Finalmente se puede decir que se ha logrado el objetivo de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la unidad generadora. En cuanto a la confiabilidad, ahora se cuenta con un regulador de velocidad moderno, que tiene varias herramientas para diagnosticar el estado del regulador, de tal forma que se puede prevenir una falla, así como también ahora se dispone de un lote de repuestos de tecnología actual, y también se cuenta con el soporte del personal propio. Se ha ganado en disponibilidad por que se ha reducido a cero las fallas por regulador de velocidad, así como también los mantenimientos preventivos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Es recomendable que en todos los nuevos proyectos que ejecuta la empresa, participé el personal que se encargará del mantenimiento y operación del nuevo sistema.
2. La información técnica que se genera por el proyecto, como protocolos de prueba, planos eléctricos, manuales de componentes, etc. son de mucha importancia porque posteriormente servirán para la operación y mantenimiento del sistema, por lo que se recomienda que toda información no solo este impresa, sino también en medio magnético.
3. Aunque el sistema viene operando correctamente, se debe considerar tener una reserva de repuestos críticos, como parte de su confiabilidad, por eso es necesario no solo identificar a los repuestos críticos, sino contar con ellos.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

Cálculo de VAN y TIR



## **ANEXO B**

Protocolo de pruebas y puesta en servicio

# PROTOCOLO DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO REGULADOR DE VELOCIDAD

MES

M	M	M	M
1	2	3	4

ITEM	ACTIVIDAD	EJECUCIÓN	1	2	3	4
------	-----------	-----------	---	---	---	---

## 1. PRUEBAS CON UNIDAD PARADA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DATOS GENERALES

1.1.1	Descripción datos generales	0%				
-------	-----------------------------	----	--	--	--	--

### 1.2 INSPECCIONES Y VERIFICACIONES INICIALES

1.2.1	Inspección del equipo y de la instalación del mismo	0%				
1.2.2	Verificación de las conexiones eléctricas	0%				
1.2.3	Verificación de las alimentaciones	0%				
1.2.4	Verificación de comandos y estados recibidos (entradas digitales)	0%				
1.2.5	Verificación de comandos y estados enviados (salidas digitales)	0%				

### 1.3 PRUEBAS EN AGUA MUERTA

1.3.1	Presurización del sistema de aceite	0%				
1.3.2	Instalación de los sensores	0%				
1.3.3	Medición de frecuencia por señal del TP	0%				
1.3.4	Movimiento de las agujas y deflector a través del control	0%				
1.3.5	Ajustes de transductores de posición de activadores (agujas y deflector)	0%				
1.3.6	Máxima velocidad de apertura y cierre del activador	0%				
1.3.7	Ajustes de las mallas de control del activador electro-hidráulico	0%				
1.3.8	Ajuste del control de salida	0%				
1.3.9	Ajuste de la malla de control de los activadores (agujas y deflector)	0%				
1.3.10	Partida y parada en agua muerta	0%				

## 2. PRUEBAS EN VACÍO

### 2.1 ENSAYOS DINAMICOS EN VACÍO

2.1.1	Giro mecánico	0%				
2.1.2	Partida gradual	0%				
2.1.3	Partida limitada – determinación de los límites de partida 1 y partida 2	0%				
2.1.4	Medición de la velocidad / frecuencia (pickup y TP)	0%				
2.1.5	Partida automática	0%				
2.1.6	Ajuste de la malla de control de velocidad	0%				
2.1.7	Parada normal	0%				
2.1.8	Ajuste del dispositivo de sobrevelocidad mecánico	0%				
2.1.9	Verificación de las redundancias existentes en el sistema de regulación	0%				
2.1.10	Verificación de la doble alimentación del sistema de regulación	0%				
2.1.11	Ensayo de estabilidad en régimen de regulación en vacío	0%				

## 3. PRUEBAS CON CARGA

### 3.1 ENSAYOS CON CARGA

3.1.1	Ajustes en la transducción de potencia	0%				
3.1.2	Ajustes de la dinámica de la malla de potencia	0%				
3.1.3	Estabilidad de unidad generadora en carga	0%				
3.1.4	Ensayos de desconexión de unidad generadora	0%				

## **ANEXO C**

### **Glosario de términos**

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Banda muerta:	Es la zona de insensibilidad para valores muy cercanos a la frecuencia nominal del sistema.
Prontitud:	Es el tiempo que demora el regulador en hacer efectiva una acción correctiva cuando se produce una variación unitaria de la velocidad de régimen.
Estabilidad:	Es la cualidad por la cual el regulador amortigua las oscilaciones producidas para cualquier variación de las condiciones de regulación.
Entradas y salidas digitales:	Señales eléctricas binarias que procesa el controlador para ejecutar en la lógica programada.
Entradas y salidas análogas:	Señales eléctricas que presenta una variación continua con el tiempo, que procesa el controlador para ejecutar en la lógica programada.
RV:	Regulador de velocidad.
PLC:	Controlador lógico programable.
SMVI:	Sistema de medición de velocidad independiente.
TP:	Transformador de potencial.
Pickup:	
Set point:	Ajuste predeterminado.
Watchdog:	Es una protección usada para volver a reiniciar el programa cuando éste "se pierde" o realiza una acción no prevista.
IHM:	Pantalla que sirve de interfaz entre el operador y la máquina.
PID:	Lógica de control proporcional, integral y derivativo.
Vcc y Vca:	Tensión continua y alterna respectivamente.