

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA NUCLEAR DAN BENINSON



Especialización en reactores nucleares y su ciclo de combustible

TÍTULO DEL TRABAJO FINAL:

“Dinámica de la Regulación de Potencia Global de la Central Nuclear Atucha II”

AUTOR: Ing. Facundo Fraguas

DIRECTOR: Ing. Marcos Peterlin



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

ÍNDICE DE CONTENIDO

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO FINAL	4
1. SIMULADOR DE ALCANCE TOTAL DE CNAII.....	5
2. INTRODUCCIÓN A LA REGULACIÓN DE POTENCIA GLOBAL DE CNAII.....	6
2.1. Valor de referencia de potencia de bloque.....	7
3. ESCENARIOS ANALIZADOS EN EL SAT DE CNAII	10
3.1. Rotura pequeña en el colector de vapor principal al 100% de potencia	11
3.1.1. Objetivo del escenario.....	11
3.1.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales.....	13
3.1.3. Análisis del escenario	13
3.1.3.1. Disminución de presión de vapor.....	13
3.1.3.2. Disminución de potencia eléctrica	17
3.2. Disparo manual de turbina (TUSA) al 100% de potencia	19
3.2.1. Objetivo del escenario.....	19
3.2.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales.....	21
3.2.3. Análisis del escenario	21
3.3. Disparo manual de STEW (caída secuencial de barras).....	25
3.3.1. Objetivo del escenario.....	25
3.3.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales.....	26
3.3.3. Análisis del escenario	26
3.4. Parada de planta desde plena potencia a parada caliente	30
3.4.1. Objetivo del escenario.....	30
3.4.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales.....	30
3.4.3. Análisis del escenario	31
3.4.3.1. Gradiente de variación de potencia	31
3.4.3.2. Apertura del bypass de turbina.....	34
3.4.3.3. Regulador de velocidad.....	36
4. CONCLUSIONES	39
5. ANEXOS	39

ÍNDICE DE ESQUEMAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

Imagen N°1: Vista aérea del edificio del Simulador de Alcance Total de CNAII	5
Imagen N°2: Comparación entre Sala de Control (izq.) y Simulador de Alcance Total (der.)	5
Figura N°1: Esquema conceptual de relación circuito primario – circuito secundario	9
Esquema N°1: Valor de referencia de potencia de bloque	10
Tabla N°1: Variables operativas a analizar en las simulaciones	11
Figura N°2: Ubicación de la rotura simulada.....	12
Grafico N°1: rotura de 0,005 A del colector de vapor principal.....	13
Figura N°3: * /** Recorte del plano eléctrico de regulación de potencia de turbina de CNAII.....	14
Figura N°4: Representación conceptual de la influencia de la presión.....	15
Esquema N°2: Influencia de la presión sobre el valor de referencia de potencia de bloque	16
Esquema N°3: Esquema de regulación con agregado del lazo de corrección de potencia	18
Esquema N°4: Limitación al lazo de corrección de la potencia del reactor	19
Imagen N°3: Válvula de cierre rápido y válvula reguladora de admisión a turbina.....	20
Grafico N°2: Disparo manual de turbina al 100% de potencia.....	21
Figura N°5: Diagrama de limitación correspondiente a la formación del STEW.....	22
Figura N°6: Desconexión del valor de referencia de bloque por TUSA.....	24
Esquema N°5: Potencia mínima y desconexión del valor de referencia de potencia de bloque	25
Grafico N°3: Caída secuencial de barras de control al 100% de potencia	26
Figura N°7: Diagrama de limitación correspondiente a la formación del STEW.....	27
Figura N°8: Control por presión mínima en plano de regulación de potencia de turbina.....	28
Esquema N°6: Agregado de control por presión mínima	29
Gráfico N°4: Parada de planta desde plena potencia hasta parada caliente.....	30
Figura N°9: Estrategia de parada de planta según MDO	31
Figura N°10: Instrucción C1 del Manual de Operaciones	32
Figura N°11: Gradiente de potencia en el plano eléctrico de regulación de potencia de turbina ...	33
Esquema N°7: Agregado del gradiente de potencia	34
Esquema N°8: Agregado del regulador de presión máxima	35
Figura N°12: Instrucción F1 del Manual de Operaciones.....	37
Esquema N°9: Agregado del regulador de velocidad al esquema general de potencia	38

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO FINAL

El objetivo del presente trabajo se basa en analizar la dinámica de la regulación de potencia global de Atucha II, con el fin de generar un esquema conceptual sobre su funcionamiento, el cual incluya los principales componentes que intervienen en la regulación de potencia del reactor, de la turbina y de la retroalimentación que existe entre éstos.

Actualmente la Central no cuenta con documentación unificada que integre, analice y describa los distintos aspectos de la regulación de potencia. La Planta solamente cuenta con planos eléctricos de la regulación, pero no hay documentación descriptiva de su funcionamiento (como tienen la mayoría de las centrales nucleares del mundo).

En el desarrollo del presente Trabajo Final tuve la posibilidad de disponer del Simulador de Alcance Total de Atucha II (SAT) para la realización de pruebas y su posterior análisis. Las pruebas que elegí fueron, a mi criterio, 5 de los escenarios más representativos en lo que respecta a la dinámica de potencia global:

- Rotura pequeña en el colector de vapor principal al 100% de potencia.
- Disparo manual de turbina (TUSA) al 100% de potencia.
- Disparo manual de STEW (caída secuencial de barras de control).
- Parada de planta desde plena potencia hasta parada caliente.

Mediante el análisis de los escenarios simulados, el estudio de las perturbaciones generales, la interpretación de planos eléctricos, complejos funcionales, circuitos hidráulicos, el estudio de interrelación de sistemas de planta, se concluye el presente Trabajo Final con la elaboración de un esquema a nivel conceptual, de la dinámica de regulación de potencia global de la Central Nuclear Atucha II.

El esquema generado, junto con la realización de las simulaciones en el SAT, se utilizarán para el dictado de cursos sobre regulación global de potencia al personal de Operaciones e Ingeniería de Atucha II.

1. SIMULADOR DE ALCANCE TOTAL DE CNAII

El Simulador de Alcance Total (SAT) es una herramienta muy poderosa la cual puede simular casi el 100% de las variables reales de planta. El edificio del SAT está ubicado fuera del predio de las Centrales Atucha I-II:



Imagen N°1: Vista aérea del edificio del Simulador de Alcance Total de CNAII

El modelo de simulación está cargado sobre una réplica exacta de la Sala de Control de Atucha II en donde se puede simular tanto la operación normal de planta como la operación en accidentes o perturbaciones.



Imagen N°2: Comparación entre Sala de Control (izq.) y Simulador de Alcance Total (der.)

2. INTRODUCCIÓN A LA REGULACIÓN DE POTENCIA GLOBAL DE CNAII

Se denomina regulación de potencia global de Atucha II a la regulación de potencia del bloque: núcleo del reactor-turbo grupo. Por lo tanto, la regulación de potencia global regula tanto la potencia del reactor como la potencia eléctrica generada.

Es importante destacar que si bien, ambas variables corresponden a potencias, sus unidades son diferentes dado que para la potencia del reactor se suele hablar en porcentaje y la potencia eléctrica generada se mide en MW.

Se denomina potencia del reactor a la potencia que absorbe el refrigerante y moderador proveniente de la fricción de los productos de fisión dentro de las pastillas de combustible y de la moderación de neutrones.

Se suele decir que los reactores nucleares tienen una potencia térmica infinita, dado que si no se controla la reacción en cadena, la energía aumentará exponencialmente. Por lo tanto, en el diseño de reactores se ponen límites a esa potencia, dependiendo de la capacidad de refrigeración. En el caso de Atucha II el tope de potencia del reactor ronda en los 2160 MW, más la potencia térmica aportada por las bombas principales da un total de aproximadamente 2176 MW. A ese valor de potencia se le asigna el 100% que se utiliza en la regulación, limitación y protección del reactor.

Si la planta está al 100% de potencia del reactor y suponiendo una eficiencia óptima, entonces por medio de los generadores de vapor y de los intercambiadores de calor del moderador, se le está transfiriendo al circuito secundario una potencia de aproximadamente 2176 MW. Considerando que las condiciones del sistema secundario son estables al igual que el nivel de los generadores de vapor, entonces a esa potencia transferida corresponde un determinado caudal de vapor generado. Si ese vapor es utilizado en su totalidad para generar energía eléctrica (turbo grupo, tanque de agua de alimentación, precalentadores, etc), entonces para el diseño de Atucha II se generarán 745 MW eléctricos.

Notar que de los 2176 MW de potencia del reactor como máximo se pueden generar 745 MW eléctricos. Esa es la eficiencia aproximada de los reactores nucleares térmicos: aprovechan aproximadamente el 34% de la potencia del núcleo del reactor para generar potencia eléctrica y el 64% restante es disipado al ambiente.

La regulación de potencia de Atucha II intenta mantener tanto a la potencia del reactor como a la potencia eléctrica dentro de un rango de valores con centro en el valor de referencia de potencia de bloque, el cual es fijado por el plantel de operaciones.

2.1. Valor de referencia de potencia de bloque

Como vimos, se denomina valor de referencia de potencia de bloque al valor de referencia que afecta tanto a la potencia del reactor como a la potencia eléctrica.

Si bien ambas potencias podrían tener valores de referencia independientes, es altamente recomendable unificarlos dado que, tanto la potencia del reactor como la potencia eléctrica están íntimamente relacionadas y se retroalimentan de una de la otra.

El valor de referencia de bloque tiene unidades en MW, sin embargo la potencia del reactor se mide en porcentaje. Para solucionar esto, en la lógica de regulación de potencia, al valor de referencia que afecta a la potencia eléctrica se lo transforma en porcentaje según la siguiente conversión:

$$V_{ref}[\%] = \frac{V_{ref}[MW]}{745MW} \times 100\%$$

Tanto la potencia del reactor como la potencia eléctrica comparten el mismo valor de referencia (valor de referencia de potencia de bloque) pero cada una tiene su respectiva variable controlada, variable manipulada y perturbaciones; como analizaremos a continuación:

I. Potencia del reactor:

La variable controlada en este caso puede ser la potencia térmica o el flujo neutrónico. La potencia térmica se calcula en la protección del reactor teniendo en cuenta la temperatura de entrada al intercambiador del moderador, el delta de temperatura en el intercambiador del moderador, el delta de temperatura en el

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

reactor, las revoluciones de las bombas principales y se corrige por el flujo neutrónico.

Dado que la potencia térmica se calcula básicamente con temperaturas, sería muy lento controlar de esta manera la potencia del reactor debido a la inercia misma de los cambios de temperatura.

Por éste motivo se decide controlar la potencia del reactor mediante el flujo neutrónico ya que es una variable directamente proporcional a la potencia del reactor y de medición relativamente fácil (variable controlada).

Para controlar el flujo neutrónico es necesario actuar continuamente sobre un parámetro determinado con el fin de mantener su valor dentro de un cierto rango de regulación. Como variable manipulada para controlar el flujo neutrónico se actúa sobre la posición de las barras de control: inserción de barras genera una disminución del flujo neutrónico y extracción de barras genera un aumento del mismo.

Existen diversos parámetros que influyen y modifican el flujo neutrónico (perturbaciones), como por ejemplo: temperatura del moderador, relación D₂O/H₂O, quemado de combustibles, venenos neutrónicos, etc.

La regulación de potencia del reactor debe ser capaz de compensar todas estas fluctuaciones manipulando directamente sobre las barras de control.

II. Potencia eléctrica:

La variable controlada en este caso puede ser directamente la potencia eléctrica o las revoluciones de la turbina (dependiendo del estado en que se encuentre la planta). Ambas se pueden medir fácilmente y su variación es muy rápida.

Para controlar la potencia eléctrica y mantenerla dentro de un rango de regulación se actúa sobre la posición de las válvulas reguladoras de admisión de vapor a la turbina (variable manipulada). Considerando que la presión de vapor se mantiene constante, una mayor apertura de las mismas aumenta la cantidad de vapor que ingresa a la turbina y por lo tanto un incremento de potencia eléctrica; por otro lado una menor apertura de las válvulas reguladoras de admisión, disminuye la cantidad de vapor de ingreso a turbina y en consecuencia una disminución de potencia eléctrica.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Los parámetros que influyen y modifican la potencia eléctrica son (perturbaciones): pérdidas de vapor, variaciones de presión de vapor, oscilaciones de la red, pérdida de vacío en el condensador, suciedad en condensador, pérdidas generales de rendimiento del ciclo.

En el siguiente esquema se presentan los parámetros principales de la regulación de potencia del reactor y de la potencia eléctrica:

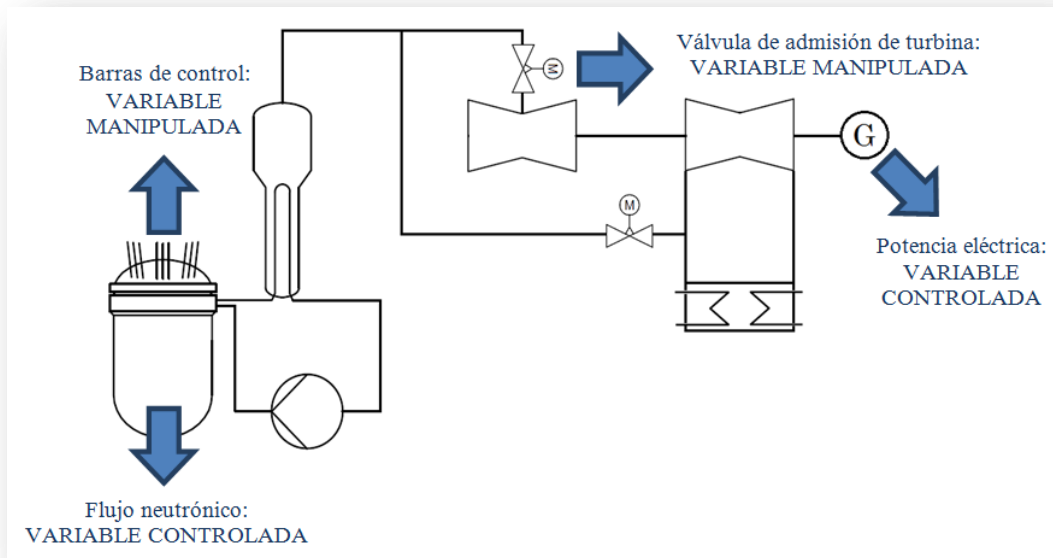
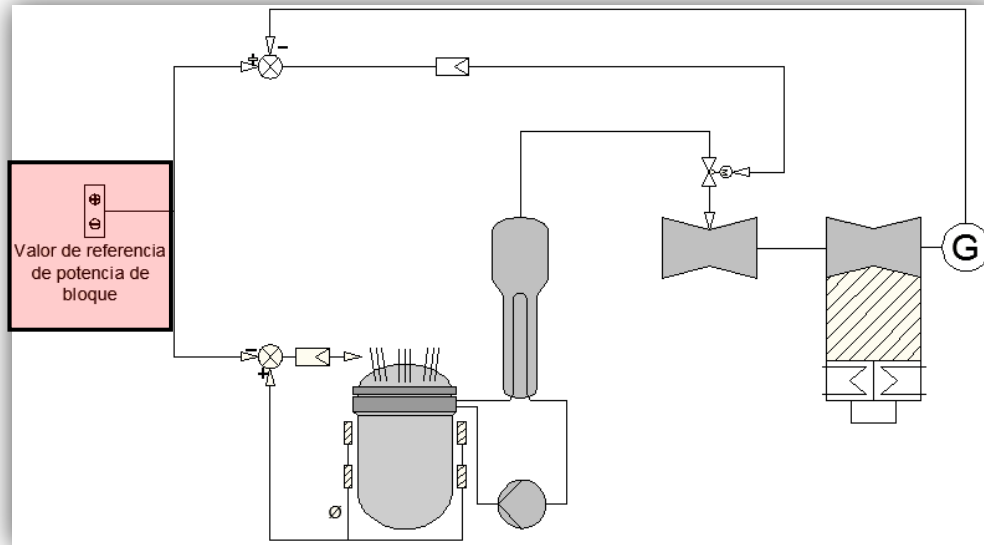


Figura N°1: Esquema conceptual de relación circuito primario - circuito secundario

A continuación en la Figura N°2 se representa un esquema general de la regulación de potencia global en donde se observa cómo el valor de referencia de bloque afecta tanto a la potencia del reactor como a la potencia eléctrica.



Esquema N°1: Valor de referencia de potencia de bloque

Observar que si bien el valor de referencia de potencia de bloque es único, luego se separa por dos caminos: uno controla la potencia eléctrica y el otro la potencia del reactor.

3. ESCENARIOS ANALIZADOS EN EL SAT DE CNAII

El objetivo de la elección de escenarios para simular era poder analizar la dinámica de las variaciones de potencia térmica y eléctrica. A su vez, debían ser escenarios relativamente sencillos desde el punto de vista operativo, dado que escenarios complejos pueden derivar en la actuación de limitaciones o protecciones del reactor, lo cual afecta la dinámica esperada de potencia global.

La elección de los escenarios fue la siguiente:

- Rotura pequeña en el colector de vapor principal al 100% de potencia.
- Disparo manual de turbina (TUSA) al 100% de potencia.
- Disparo manual de caída secuencial de barras de control (STEW).
- Parada de planta desde plena potencia hasta parada caliente.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Los escenarios se llevaron a cabo analizando principalmente la evolución de las siguientes variables operativas:

VARIABLE	KKS
Potencia Térmica	JTK0FX105
Flujo neutrónico	JSP10FX802
Potencia Eléctrica	MKA00CE041
Presión de vapor principal (colector)	LBA60CP001
Posición de válvulas de admisión a turbina	MAA10CG002
Posición de válvulas de bypass	MAN11CG002

Tabla N°1: Variables operativas a analizar en las simulaciones

La metodología de trabajo fue la siguiente:

- 1) Realización de la simulación completa en el SAT.
- 2) Extracción de gráficas de variables principales (según Tabla N°1).
- 3) Análisis de las gráficas recurriendo a planos de regulación de turbina / reactor.
- 4) Interpretación de planos de regulación y traducción en esquemas simplificados.
- 5) Elaboración de esquema general de potencia incorporando los esquemas simplificados generados en el punto anterior.

3.1. Rotura pequeña en el colector de vapor principal al 100% de potencia

3.1.1. Objetivo del escenario

En este escenario se simula una rotura de 0,005 A en el caño colector de vapor vivo, el cual colecta la salida de vapor de los dos generadores de vapor y lo deriva hacia el turbogruppo.

A continuación en la Figura N°2 se representa esquemáticamente la salida de los dos generadores de vapor (incluyendo válvulas de alivio controlado y válvulas de seguridad), el colector de vapor vivo (rojo) y el ingreso al turbogruppo previo pasaje por la válvula de admisión a turbina.

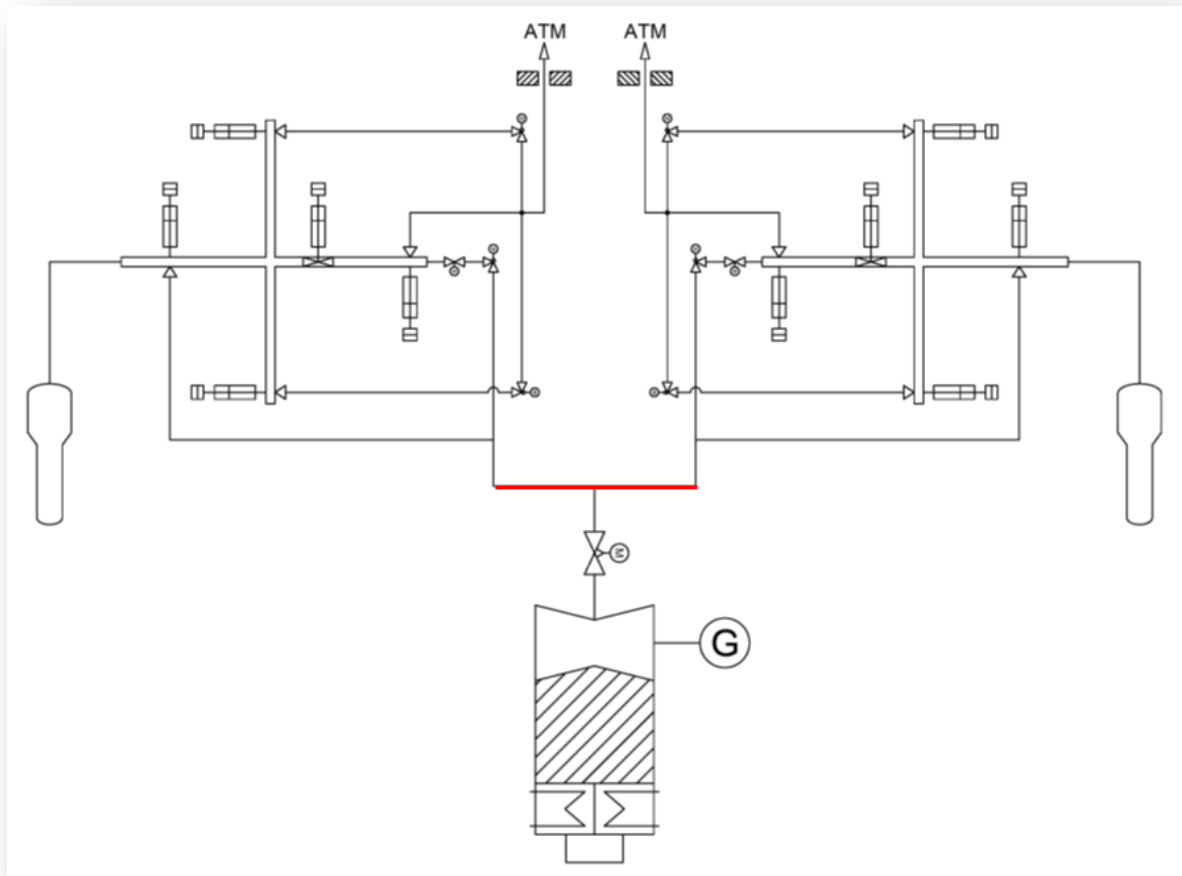


Figura N°2: Ubicación de la rotura simulada

Con este escenario busqué generar una pérdida de rendimiento del ciclo térmico causada por una reducción de la presión de vapor principal. Probé distintos tamaños de rotura del colector de vapor principal con el fin de poder disminuir levemente la presión sin generar el disparo de turbina (42 bar).

El objetivo principal era analizar las acciones tomadas por la regulación de potencia global recurriendo a los planos eléctricos, interpretar dichos planos y elaborar un diagrama conceptual de los mismos.

3.1.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales

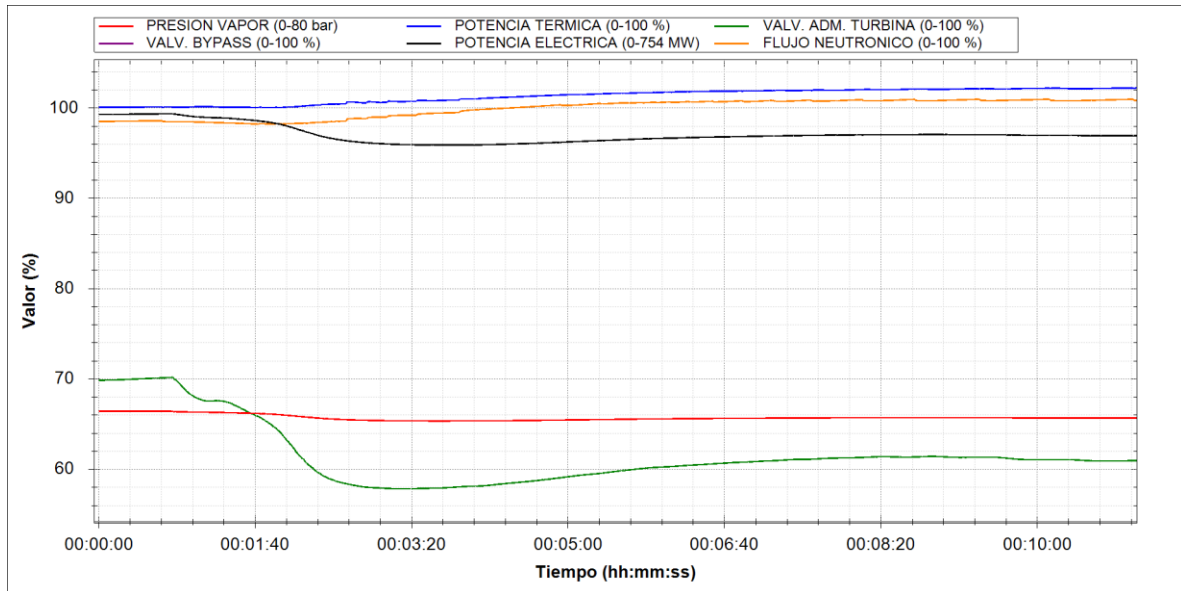


Gráfico N°1: rotura de 0,005 A del colector de vapor principal

3.1.3. Análisis del escenario

A continuación se realizará el análisis del escenario separando los dos acontecimientos más importantes ocurridos: disminución de presión de vapor y disminución de potencia eléctrica.

3.1.3.1. Disminución de presión de vapor

Como consecuencia de la pequeña rotura del caño, se produce una pérdida de vapor a través de la misma generando una disminución de presión de vapor.

En el Gráfico N°1 se puede ver que luego de la rotura y la disminución de presión de vapor, las válvulas de admisión de turbina cierran un cierto porcentaje y la potencia eléctrica disminuye. La duda aquí es entender qué regulación dio el orden de cierre de las válvulas de admisión de turbina, cuál es la variable medida en este caso y cuál es su valor de referencia.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Recurriendo al plano eléctrico de regulación de potencia de turbina “MYA-Sistema de Control de Turbina CNAII”, encontré que la “Influencia de la Presión” suma o resta potencia (MW) al valor de referencia de bloque a razón de 30 MW por cada bar de presión que se aleje de los 53 bar (valor de referencia del colector de vapor a 100% de potencia); con límite máximo y mínimo de influencia de ± 100 MW.

En la Figura N°3 se presenta el recorte del plano en cuestión:

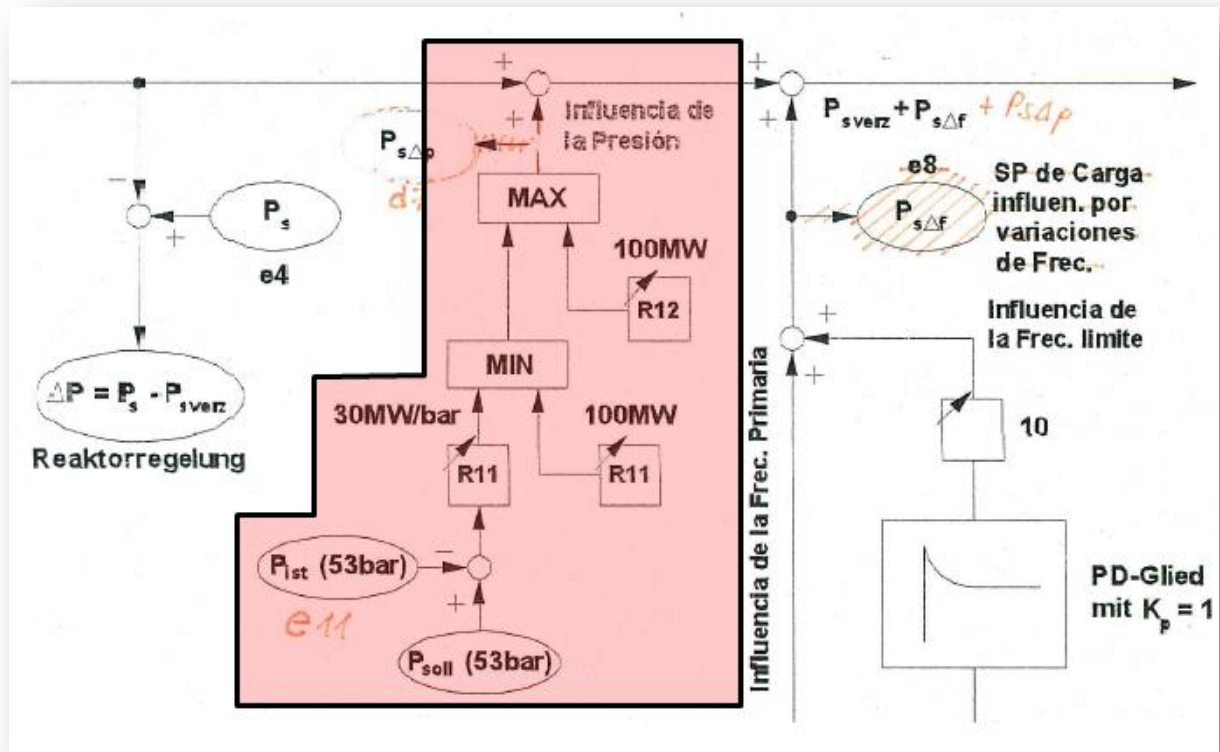


Figura N°3: */** Recorte del plano eléctrico de regulación de potencia de turbina de CNAII

* En el recorte del plano se pueden observar escrituras, las mismas se deben a que se aplicaron modificaciones a la regulación eléctrica de potencia de turbina, las cuales no han sido incorporadas aún en una nueva revisión del plano.

** No se incluye en este Trabajo el plano eléctrico de regulación de potencia de turbina completo, dado que las dimensiones del mismo son de 225 cm x 50 cm y sería ilegible en una hoja formato A4.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Con el objetivo de generar un esquema didáctico, en la Figura N°4 se presenta una interpretación conceptual del bloque de “influencia de la presión” analizado:

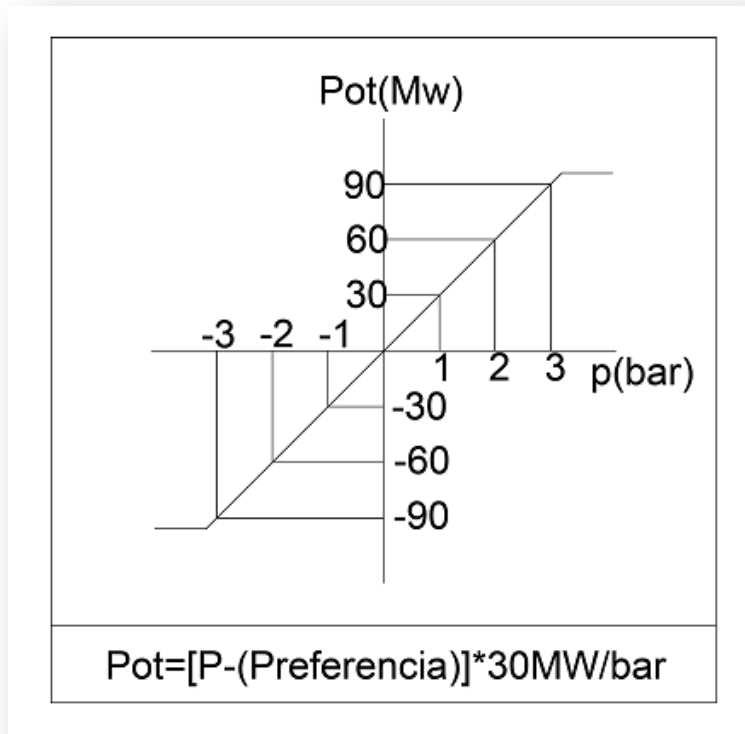
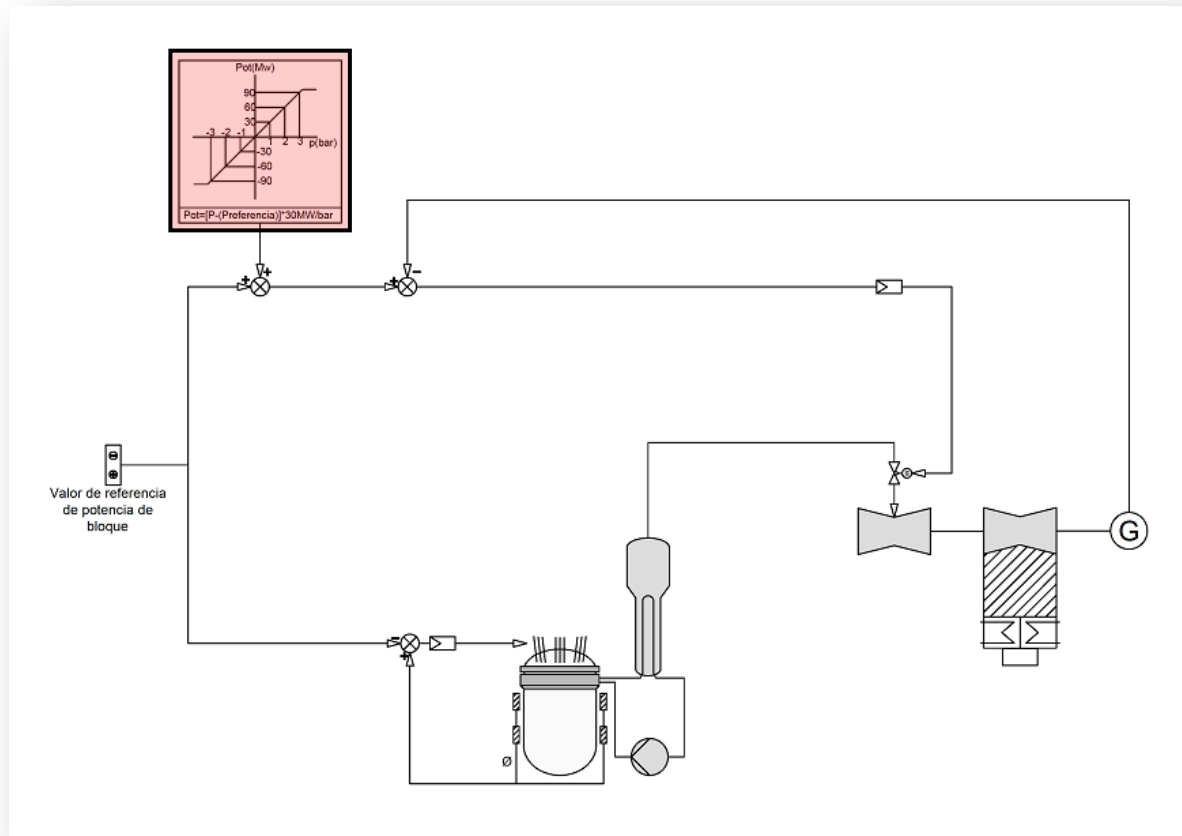


Figura N°4: Representación conceptual de la influencia de la presión

Siguiendo los lineamientos del presente Trabajo Final, voy incorporando al esquema general de potencia las regulaciones que intervienen en los escenarios, luego de haberlas analizado en los planos correspondientes y de haber elaborado un esquema conceptual de las mismas.

A continuación en el Esquema N°2 se incluye el bloque de la influencia de la presión al esquema general de regulación de potencia global presentado anteriormente.



Esquema N°2: Influencia de la presión sobre el valor de referencia de potencia de bloque

En conclusión, se observa que la regulación de potencia de turbina al medir una alteración de la presión de vapor, introduce una influencia positiva o negativa sobre el valor de referencia de potencia de bloque (en MW) para abrir o cerrar parcialmente las válvulas de admisión de turbina. Esto se debe principalmente a que la regulación global de potencia intenta mantener lo más estable posible la temperatura del refrigerante primario, dado que ésta, por su coeficiente de reactividad, genera cambios en la potencia del reactor seguido de un movimiento de barras de control para estabilizar la potencia.

Si no se mantuviera estable la presión de vapor del secundario, cualquier cambio de esta presión generaría una alteración de temperatura del refrigerante primario y un movimiento inesperado de barras de control.

Por eso la regulación ante una rotura pequeña del colector de vapor principal, da la orden de cierre de las válvulas de admisión de turbina, aunque esto genere una disminución de potencia eléctrica (como se puede observar en el gráfico). De esta manera logra contrarrestar la disminución de presión y el consecuente movimiento de barras de control debido a una disminución de temperatura del refrigerante primario.

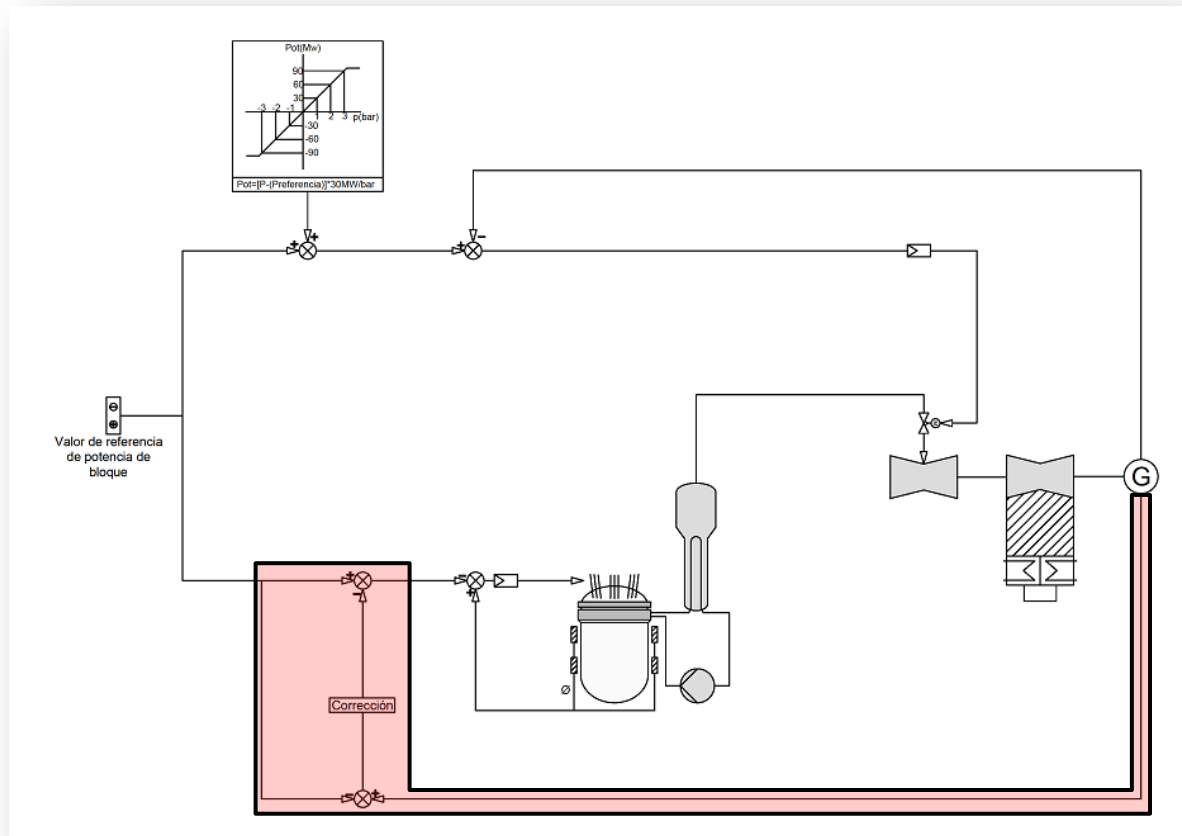
3.1.3.2. Disminución de potencia eléctrica

En el Gráfico N°1 se puede observar que a medida que disminuye la presión de vapor y cierran las válvulas de admisión de turbina, se produce una disminución de potencia eléctrica.

Luego de la reducción de potencia eléctrica se genera un aumento de flujo neutrónico y de potencia térmica, debido a la extracción de barras de control. Esto ocurre porque la regulación de potencia global intenta compensar la pérdida de rendimiento del ciclo térmico (disminución de potencia eléctrica) dando la orden de extracción de barras de control. Para ello debe existir un lazo en la regulación que mida la potencia eléctrica, la compare con el valor de referencia de potencia térmica e influya sobre la posición de barras de control.

En este punto recurrí al documento de Diagramas Funcionales de las Regulaciones del Reactor con TXS (Denominado LEVEL 4). Dentro del documento encontré el diagrama funcional correspondiente: "corrección de potencia". Dicho diagrama funcional está adjuntado como ANEXO I en el presente Trabajo Final.

A continuación en el Esquema N°3 realizo una representación conceptual de la corrección de potencia y la incluyo al esquema general de regulación.



Esquema N°3: Esquema de regulación con agregado del lazo de corrección de potencia

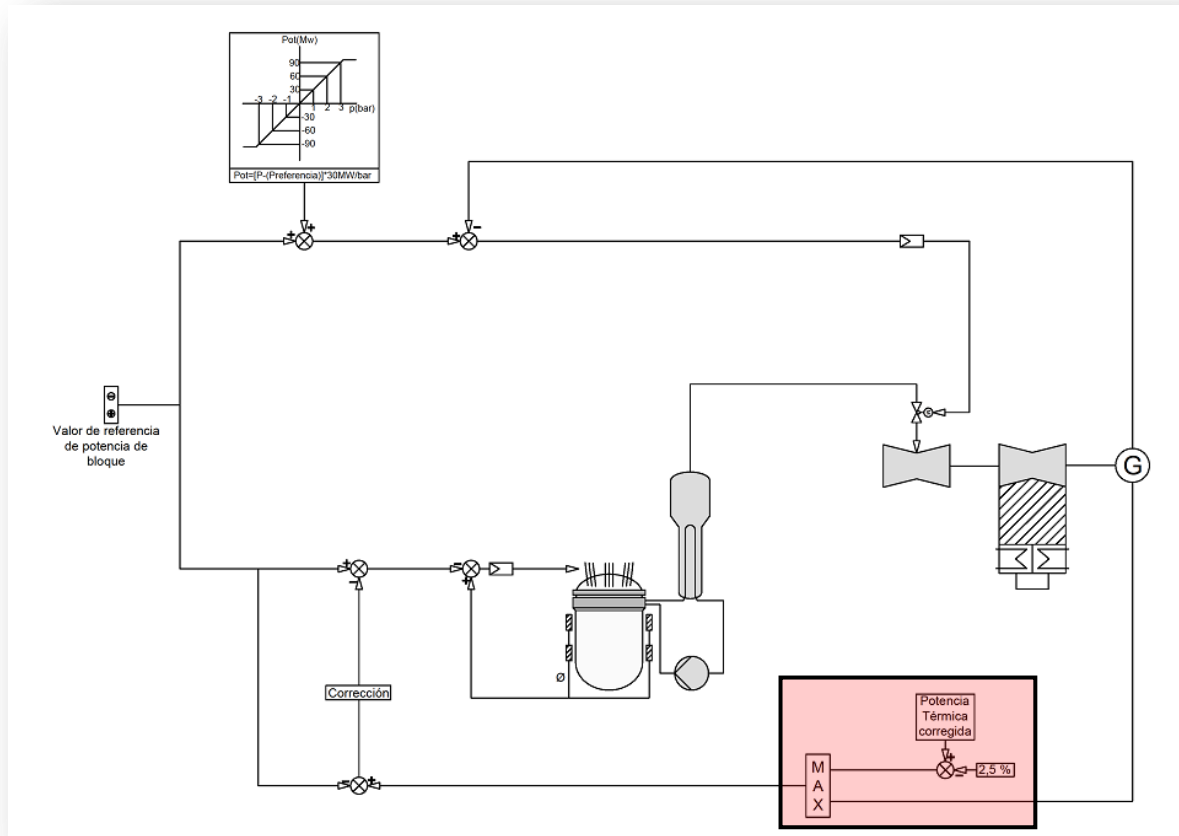
Si bien la corrección logra aumentar levemente la potencia eléctrica, se puede observar en el Gráfico N°1 que dicho incremento se detiene sin lograr alcanzar el valor previo a la rotura del colector de vapor.

Según el diagrama funcional (ANEXO I), la corrección actúa incrementando la potencia térmica hasta el 102,5% como máximo. Esto se debe a que si la potencia térmica alcanza el 103%, se dispara una limitación de potencia que toma acción sobre las barras de control dejándolas caer secuencialmente (STEW).

Por lo tanto, la regulación no seguirá compensando la pérdida de potencia eléctrica para evitar que se actúe dicha limitación.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

A continuación en el Esquema N°4 se agrega al lazo de corrección la interpretación conceptual del diagrama funcional del ANEXO I, representada por una compuerta de máximos en donde compite la potencia eléctrica con la potencia térmica – 2,5%:



Esquema N°4: Limitación al lazo de corrección de la potencia del reactor

3.2. Disparo manual de turbina (TUSA) al 100% de potencia

3.2.1. Objetivo del escenario

En este escenario se simula el disparo de turbina ocasionado por el cierre rápido de las válvulas de admisión de vapor.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Con este escenario busqué generar una interrupción instantánea de vapor para que se interrumpa la generación de potencia eléctrica y poder analizar el comportamiento posterior de la potencia térmica.

Para lograr esto realicé un TUSA manual, mediante el cual se despresiriza el aceite de mando que mantiene abierta la válvula de cierre de admisión de vapor a turbina. En contraposición al aceite de mando la válvula de cierre rápido cuenta con un gran resorte, el cual se descomprime casi instantáneamente generando el cierre de la válvula.

A continuación en la Imagen N°3 se incluye una foto real del conjunto de válvulas de admisión a turbina (cierre rápido + reguladora) y un esquema representativo de las mismas.

Elegí una foto en la que aparecen dos personas para tener una referencia de las dimensiones de las válvulas.

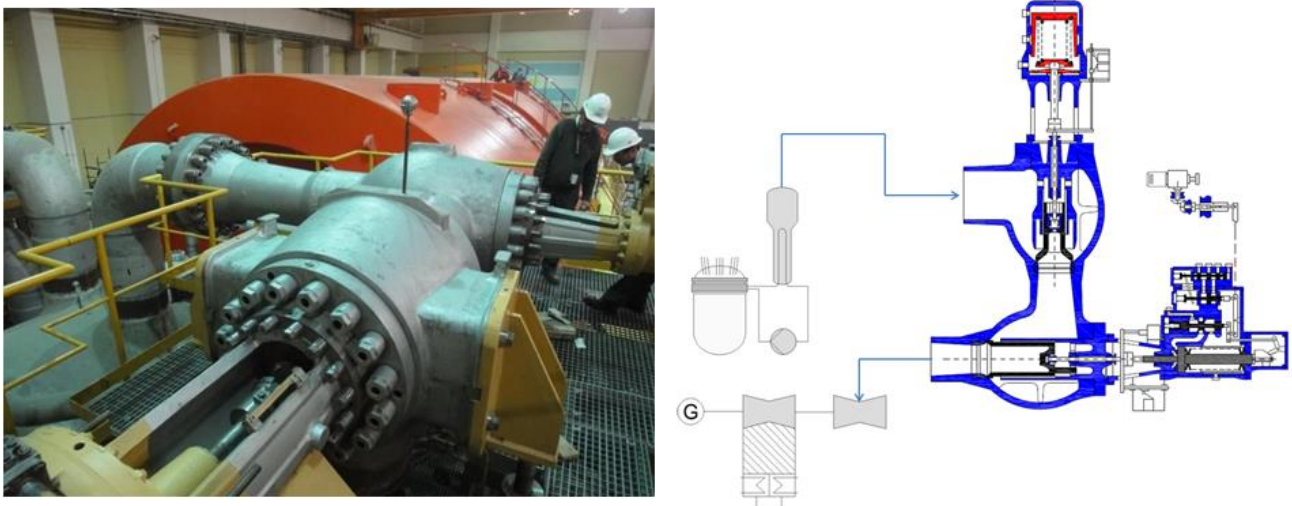


Imagen N°3: Válvula de cierre rápido y válvula reguladora de admisión a turbina

Me parece importante destacar que los bloques de válvulas de admisión a turbina son en realidad 4, pero en este Trabajo Final tomo uno sola como referencia, dado que todas se comportan de la misma manera desde el punto de vista de la regulación.

3.2.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales

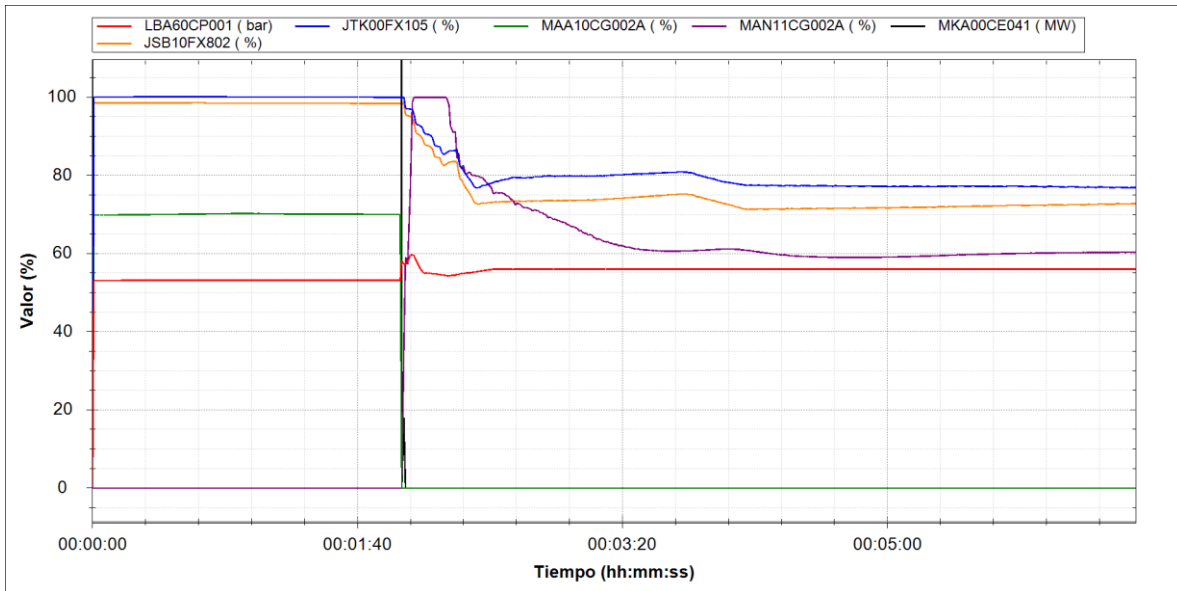


Gráfico N°2: Disparo manual de turbina al 100% de potencia

3.2.3. Análisis del escenario

En el Gráfico N°2 se observa que luego del disparo manual de turbina, la potencia del reactor cae al 80% secuencialmente.

Si bien el objetivo de la prueba es estudiar el comportamiento de la regulación de potencia luego del disparo de turbina, previamente debo analizar la bajada “escalonada” de potencia térmica. Este tipo de acciones de reducción de potencia se originan en la limitación del reactor, en este caso es una caída secuencial de barras.

Recurro a los diagramas de limitación para verificar qué acciones disparan la caída secuencial de barras, denominada “STEW” (Figura N°5):

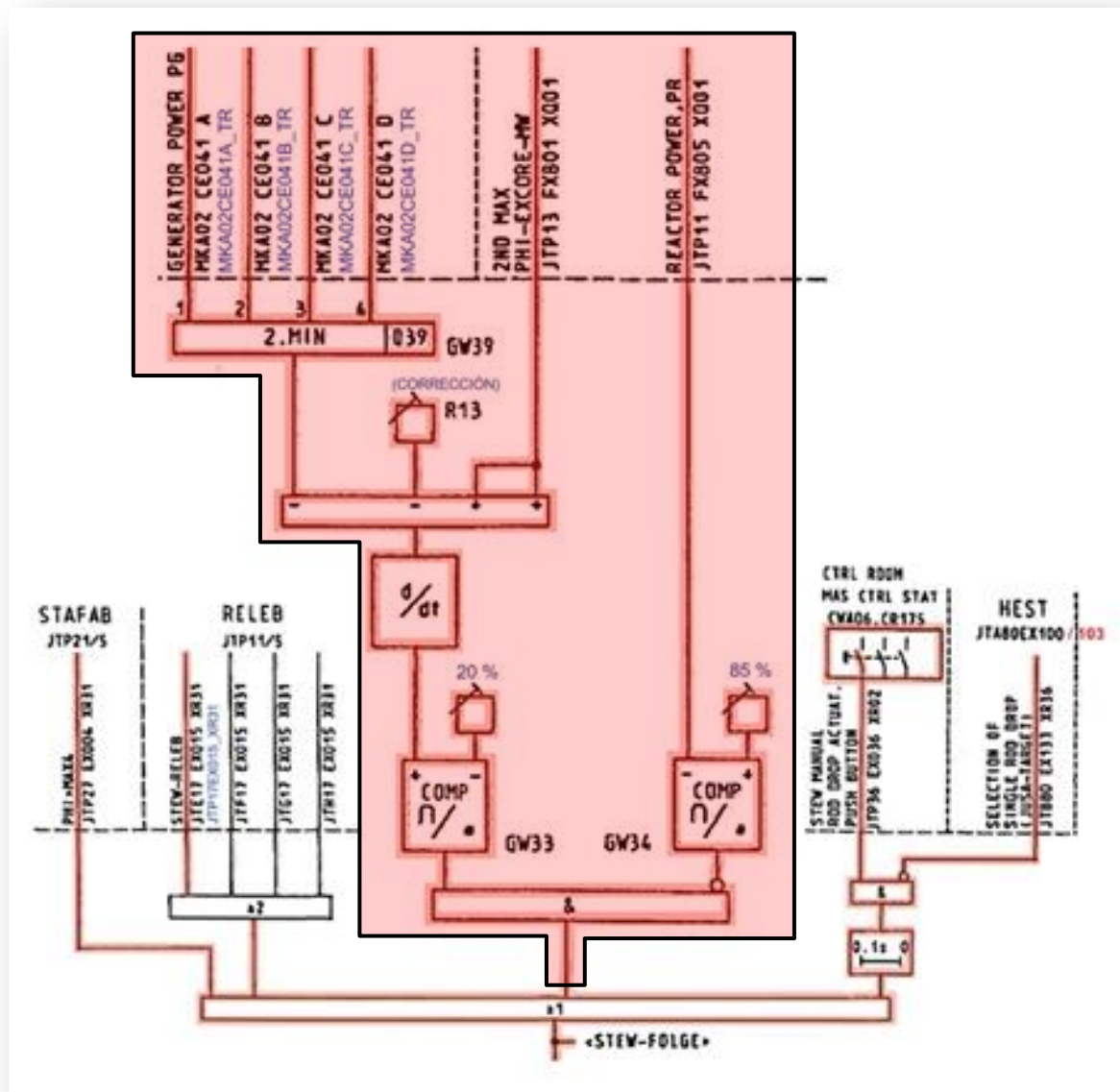


Figura N°5: Diagrama de limitación correspondiente a la formación del STEW

- Del STAFAB por “PHI>max4” en la vigilancia de la subcriticidad.
- Del L-RELEB por “PR>PERL+5%”
- Del PO-RELEB y PU-RELEB por “aumentos muy rápidos de densidad de potencia local”
- Del STEW por “rechazo de carga o TUSA” (LAW) o manualmente desde tablero.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

En nuestro ejercicio la caída secuencial de barras se da por la señal LAW, dado que al realizar el disparo de turbina la potencia del reactor (PR) es mayor al 85%, y la derivada de la diferencia entre el 2do máx. del flujo neutrónico no corregido (sumadas las dos mitades) y el valor de la potencia del generador (PG) es mayor que el 20%.

Como se puede observar en la Figura N°5, la caída secuencial de barras disminuye potencia hasta el 85% (más la histéresis), luego de eso la regulación debería tomar el control de la potencia del reactor.

Para descubrir esto, recurro nuevamente al documento de Diagramas Funcionales de las Regulaciones del Reactor con TXS ("LEVEL 4").

En el ANEXO II se adjunta el esquema correspondiente a la formación del valor de referencia del reactor. En el mismo pude ver cómo se forma el valor de referencia del reactor, el cual está fijo en 80% si la potencia térmica se encuentra al 100% y compite en una compuerta de máximos con el valor de referencia de la potencia de bloque; por lo tanto, si el valor de referencia de la potencia eléctrica es mayor al 80% éste será la que tome el control del reactor.

Cuando ocurre el disparo de turbina, la potencia eléctrica cae a 0 MW debido al cierre de las válvulas de admisión a turbina. Se puede observar que la potencia térmica disminuye secuencialmente hasta el 85% y luego la toma la regulación estabilizándola al 80%.

Aquí me surgió una duda, dado que para que el reactor descienda potencia hasta el 80%, significa que el valor de referencia de potencia del reactor le "ganó" en la compuerta de máximos al valor de referencia de potencia de bloque. Eso en principio no debía ocurrir, dado que si bien la potencia eléctrica disminuyó hasta 0 MW, su valor de referencia permanecía en 745 MW (100%).

Recurriendo al plano eléctrico de regulación de potencia de turbina "MYA-Sistema de Control de Turbina CNAII", encontré que en caso de disparo de turbina se desconecta el valor de referencia de potencia.

En la Figura N°6 se representa un recorte del plano eléctrico de regulación de turbina en donde se pueden observar los criterios que actúan sobre el switch luego de la formación del valor de referencia de bloque.

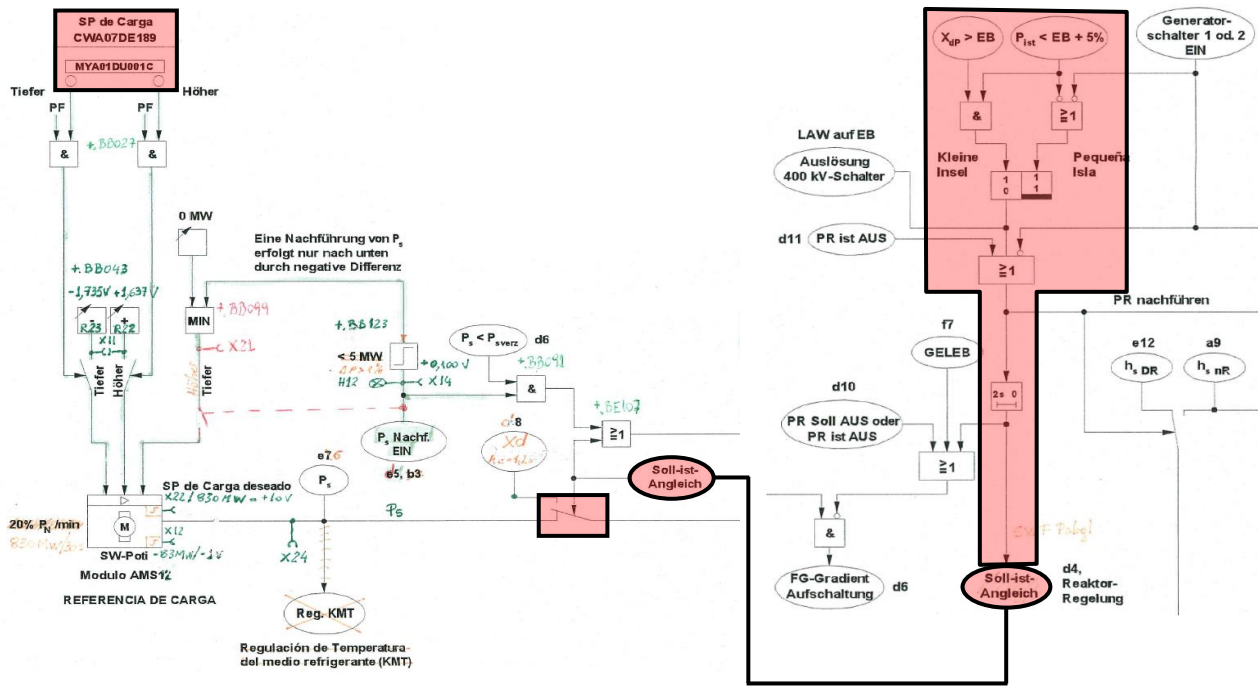
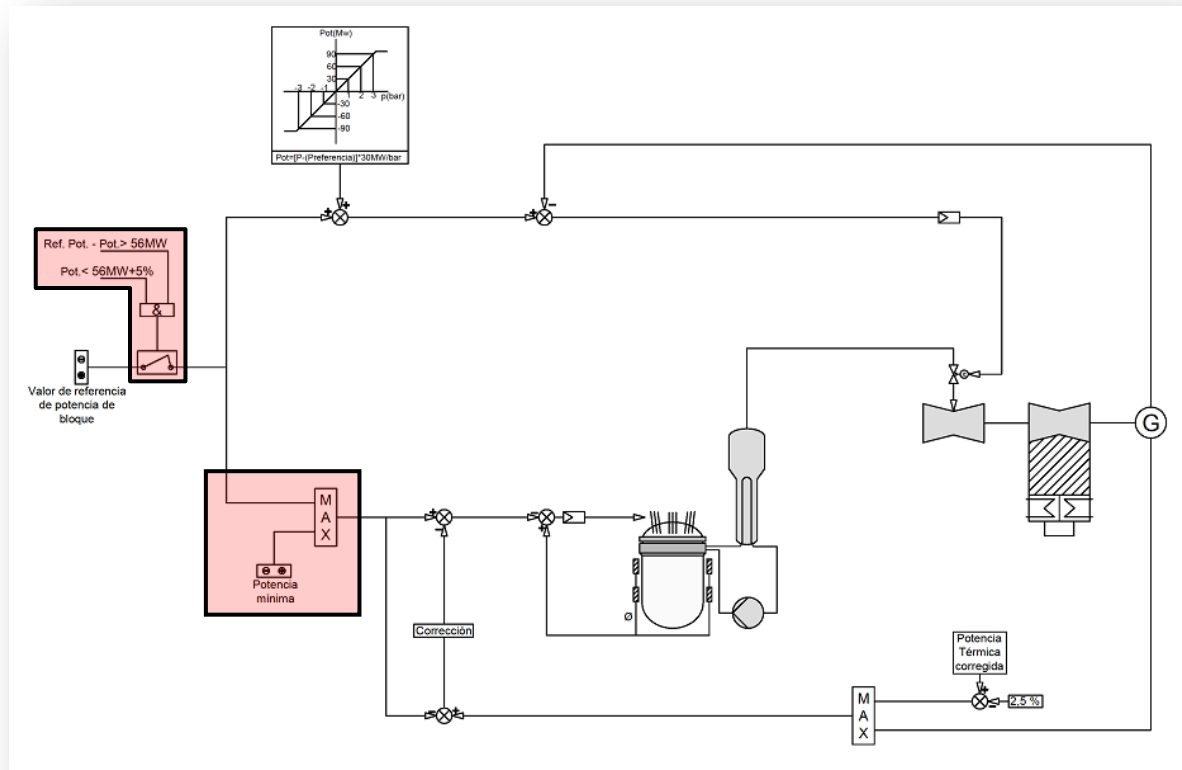


Figura N°6: Desconexión del valor de referencia de bloque por TUSA

Siguiendo con el objetivo del presente Trabajo Final, realizo un esquema conceptual en donde relaciono la regulación de potencia del reactor (formación de valor de referencia de potencia del reactor, extraído del "LEVEL 4") con la regulación de potencia de turbina (desconexión del valor de referencia en caso de TUSA, extraído del plano eléctrico de regulación de turbina).

En el Esquema N°5 se puede observar el agregado de una compuerta de mínimos en donde compite la potencia mínima (valor de referencia del reactor – LEVEL 4) y el valor de referencia de potencia de bloque. Por otro lado se agregó el switch que desconecta el valor de referencia de potencia de bloque en caso de disminución grande de potencia eléctrica generada (en este caso a causa del disparo de turbina – TUSA).



Esquema N°5: Potencia mínima y desconexión del valor de referencia de potencia de bloque

3.3. Disparo manual de STEW (caída secuencial de barras)

3.3.1. Objetivo del escenario

En el presente escenario realicé una caída secuencial de barras manual con el objetivo de generar una gran despresurización en el circuito secundario seguido de una posterior recuperación.

La despresurización del colector de vapor principal se produce debido a una disminución de potencia térmica del 15% aproximadamente.

El objetivo era ver cómo responde la regulación de potencia ante una despresurización grande de vapor principal.

La planta luego se recupera dado que el valor de referencia de bloque permanece en 100%, entonces la potencia térmica va a aumentar “arrastrando” la potencia eléctrica hasta el 100%.

3.3.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales

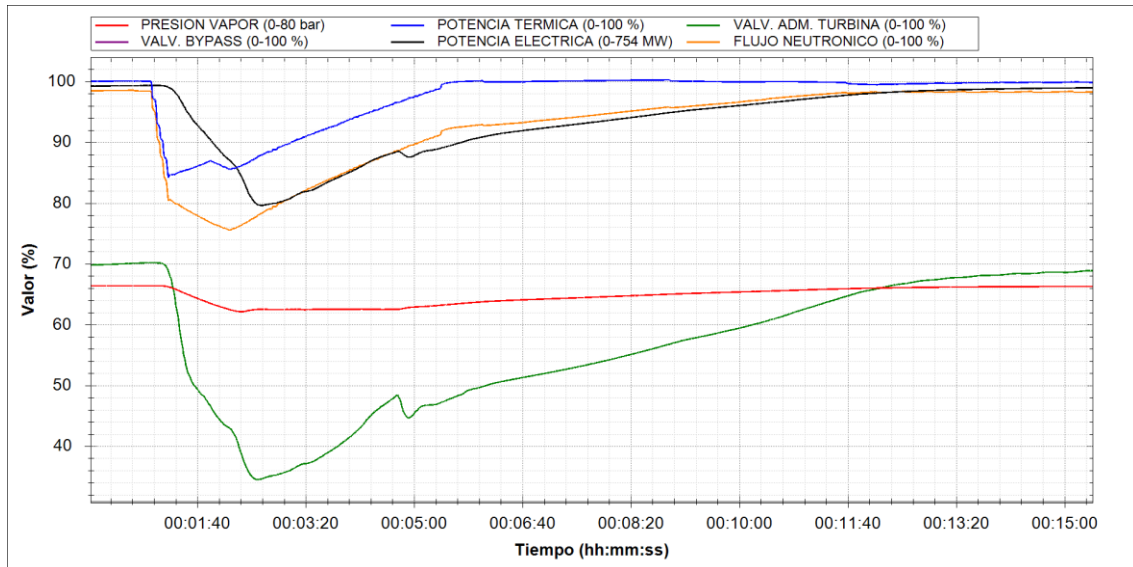


Gráfico N°3: Caída secuencial de barras de control al 100% de potencia

3.3.3. Análisis del escenario

En esta simulación se realiza una caída secuencial de barras de manera manual. La disminución de potencia se da mientras se mantenga presionado el pulsador correspondiente.

En la Figura N°7 se incluye el esquema de limitación en donde se forma el STEW, y en este caso se puede observar que el mismo se dispara por accionamiento manual desde Sala de Control.

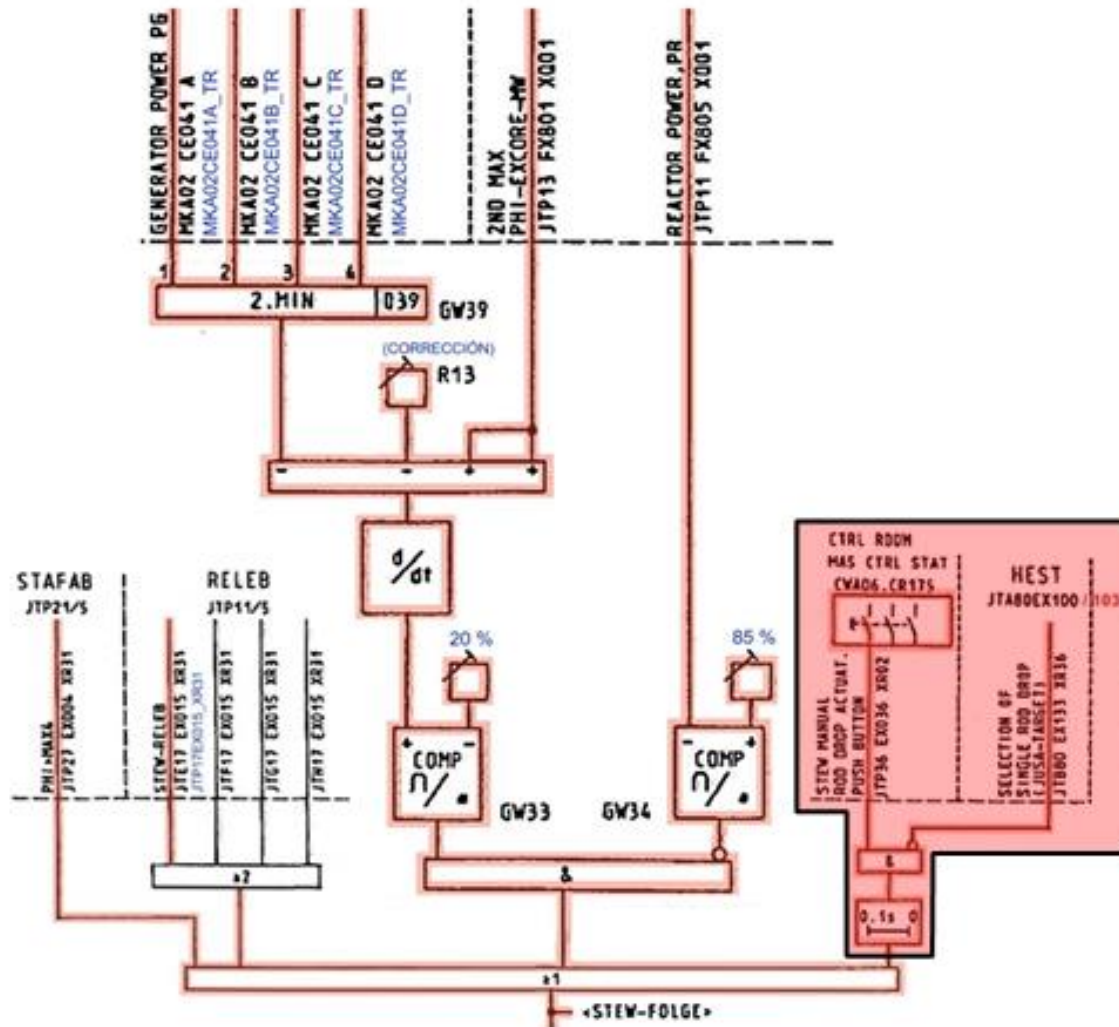


Figura N°7: Diagrama de limitación correspondiente a la formación del STEW

Como se puede ver en el Gráfico N°3, la disminución de potencia mediante la caída secuencial de barras se realiza hasta el 85% aproximadamente; luego de esto la regulación toma el control y busca elevar potencia del bloque hasta alcanzar el valor de referencia (100%).

Lo que se destaca en esta prueba es que se produce una disminución importante de presión del colector de vapor principal. Inicialmente la influencia de presión intenta compensarla cerrando las válvulas de admisión de turbina, pero como se analizó previamente, la influencia de la presión sólo actúa hasta los 50 bar de presión.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Durante la prueba el valor de referencia de potencia eléctrica permanece en 100% pero la potencia eléctrica sufrió una disminución del 15%, por lo tanto se genera una despresurización importante de vapor, alcanzando valores inferiores a los 50 bar.

El motivo de análisis de esta prueba es entender qué ocurre cuando la presión del colector de vapor cae por debajo de los 50 bar. En el gráfico se puede ver que por debajo de esa presión aumenta la velocidad de cierre de las válvulas de admisión a turbina y gracias a ello la presión aumenta y se estabiliza en 50 bar.

Para entender esta dinámica recorro al plano eléctrico de regulación de potencia de turbina "MYA-Sistema de Control de Turbina CNAII", en el cual encuentro que existe un control de presión mínima. A continuación en la Figura N°8 se presenta el recorte del plano correspondiente y su interpretación:

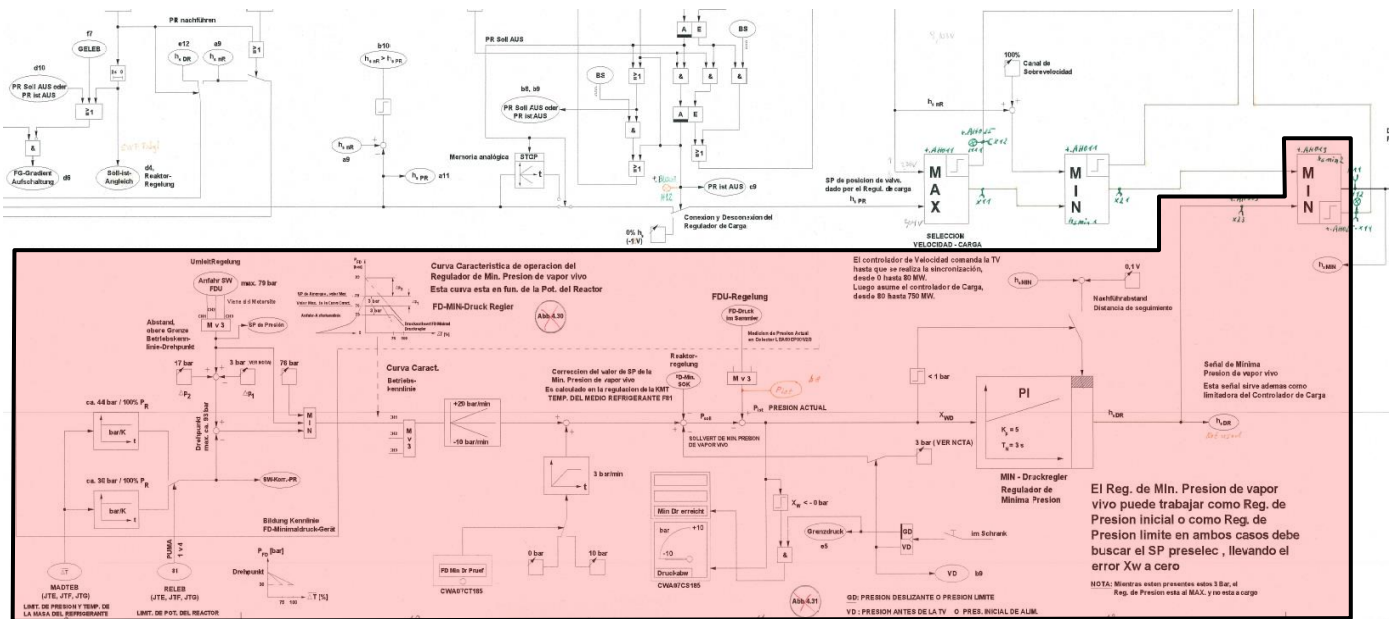


Figura N°8: Control por presión mínima en plano de regulación de potencia de turbina

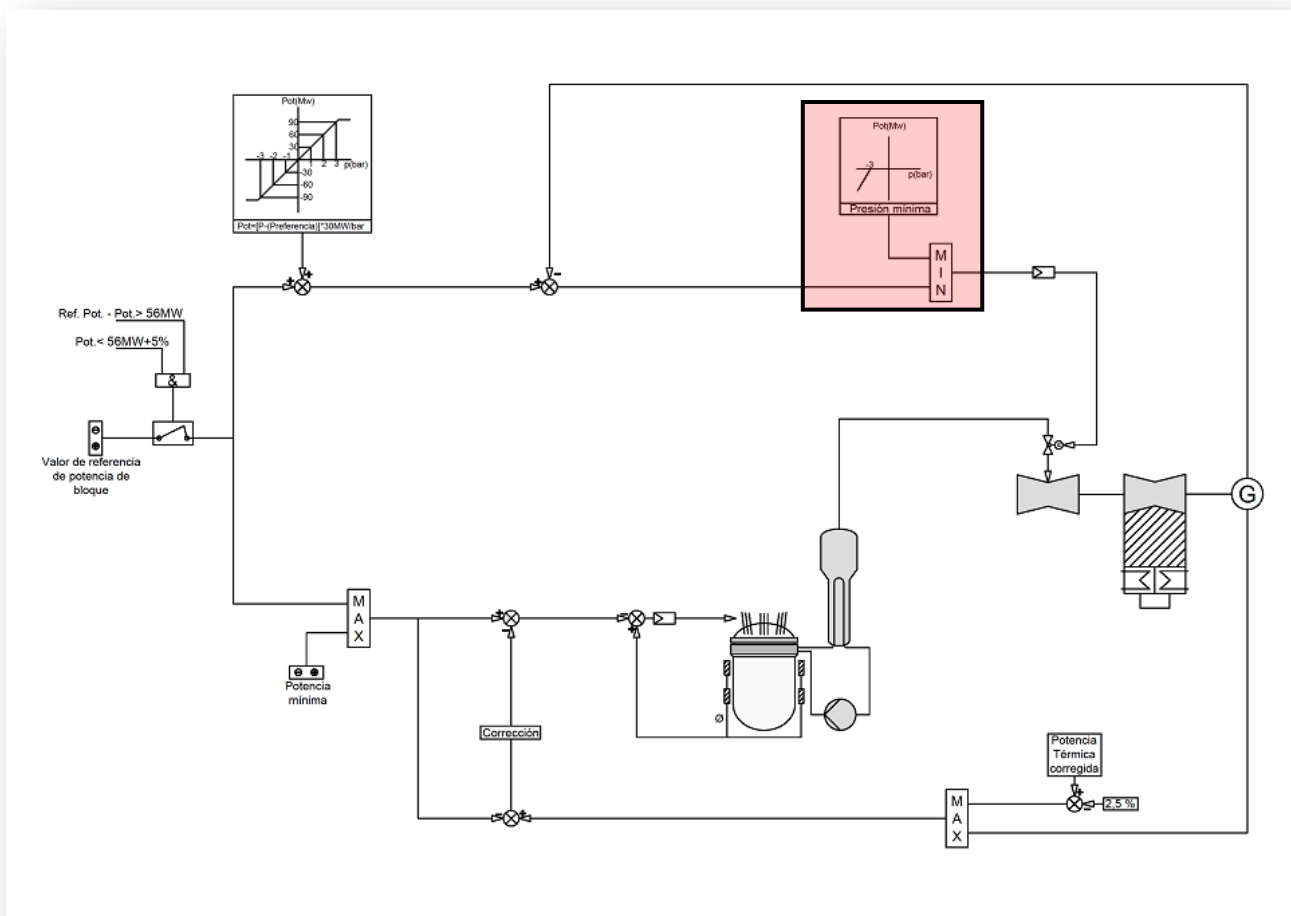
Este control compete en una compuerta de mínimos con el control por potencia y gana en dicha compuerta cuando la presión del colector de vapor es inferior a 50 bar. Al ganar en la compuerta compara el error de presiones y actúa sobre la posición de las válvulas de admisión a turbina para mantener la presión en 50 bar.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Mientras la presión se mantiene en 50 bar, la potencia del reactor se recupera luego del STEW manual intentando alcanzar su valor de referencia (100%).

Como el controlador por presión mínima es proporcional integrativo, cuando integra suficiente error, pierde en la compuerta de mínimos y nuevamente toma el control de turbina el control por potencia, el cual intenta aumentar la presión vapor hasta los 53 bar operativos.

A continuación en el Esquema N°6 se agrega al diagrama general de regulación, el esquema simplificado del control por presión mínima. Este control compite en una compuerta de mínimos con el valor de referencia de potencia de bloque, para tomar el mando de la posición de las válvulas de admisión a turbina:



Esquema N°6: Agregado de control por presión mínima

3.4. Parada de planta desde plena potencia a parada caliente

3.4.1. Objetivo del escenario

La simulación de la parada de planta es un escenario abarcativo de los anteriores y a su vez contempla nuevas dinámicas de potencia.

Las maniobras de parada de planta desde plena potencia hasta parada caliente se realizaron siguiendo el Manual de Operaciones de CNAII. Las mismas demoraron 80 minutos aproximadamente y generaron una gran variación de los parámetros estudiados en este Trabajo Final.

El objetivo principal de la simulación, al igual que en los casos anteriores, era analizar esas variaciones recurriendo a los planos eléctricos, interpretar dichos planos y elaborar un diagrama conceptual de los mismos.

3.4.2. Gráfica de la evolución de parámetros principales

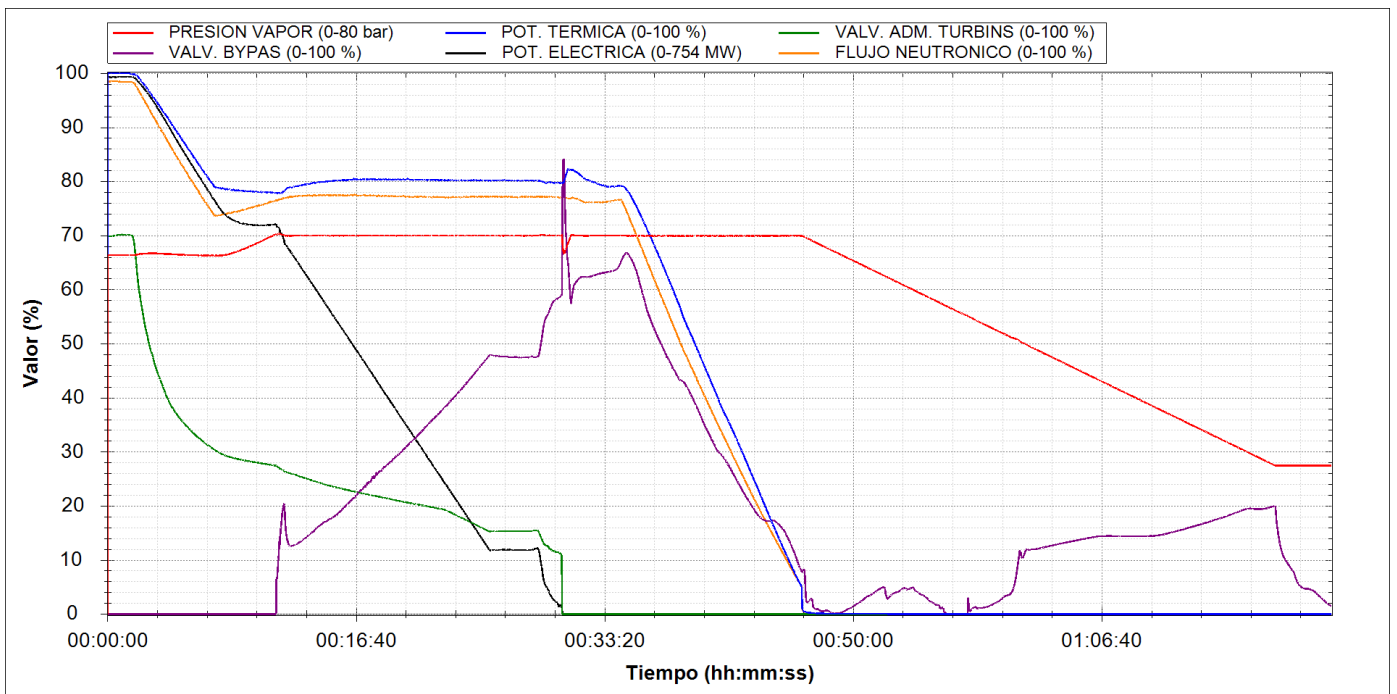


Gráfico N°4: Parada de planta desde plena potencia hasta parada caliente

3.4.3. Análisis del escenario

En esta simulación se realiza una parada de planta desde plena potencia hasta parada caliente, siguiendo el Manual de Operaciones correspondiente.

Finalizada la evolución se analizan las distintas etapas desde el punto de vista de la dinámica de regulación de potencia, recurriendo a los planos correspondientes para interpretar las acciones que toma la regulación.

3.4.3.1. Gradiente de variación de potencia

Según el Manual de Operaciones “Parada desde Plena Potencia a Parada Caliente”, la estrategia de operación es la siguiente:

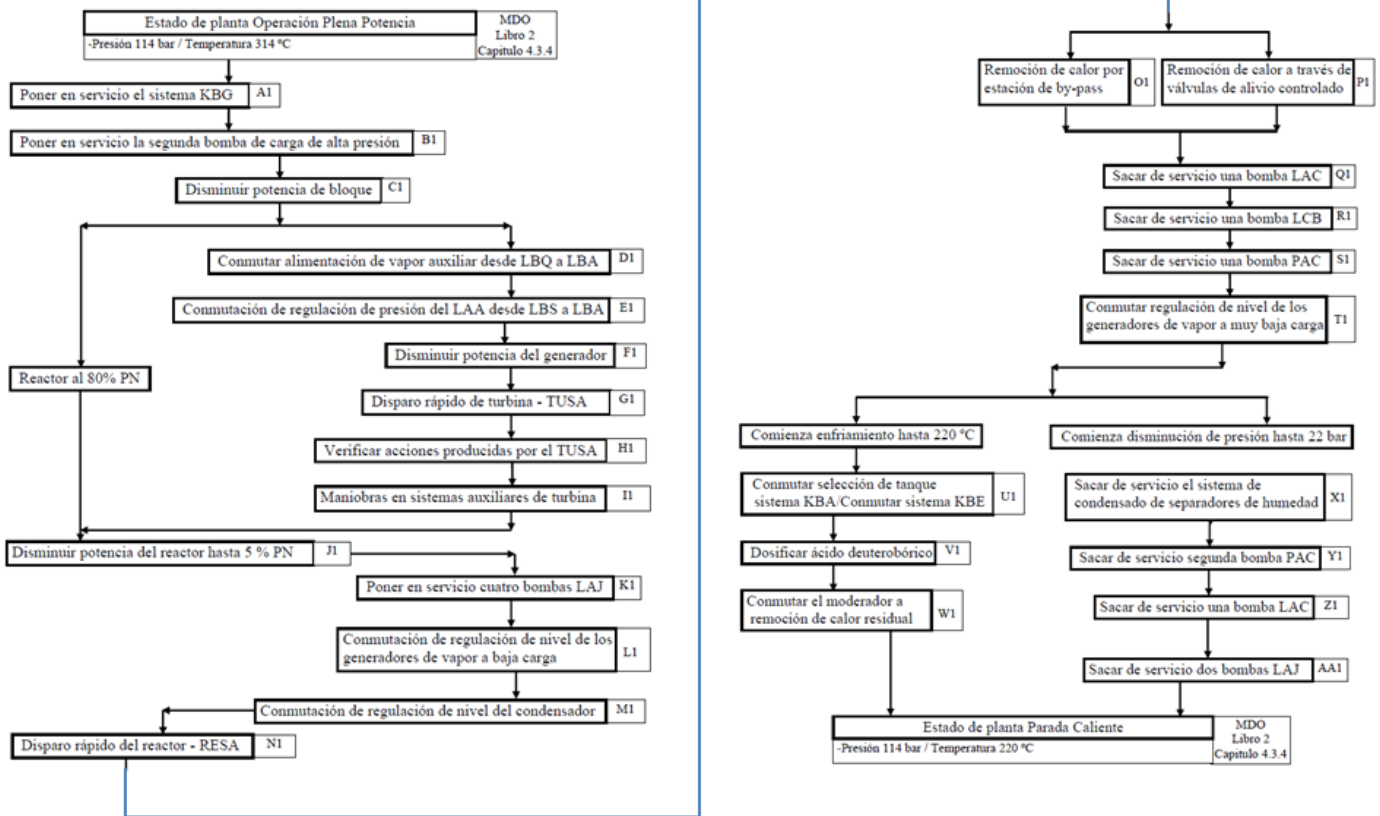


Figura N°9: Estrategia de parada de planta según MDO

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

En la instrucción C1 el Manual de Operaciones (Figura N°10) se solicita disminuir potencia de bloque. Para ello como primera medida se debe fijar un valor de gradiente de variación de potencia, y luego establecer el valor de referencia de bloque en 0 MWe, como se muestra a continuación:

C1- Disminuir potencia de bloque			
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	ESTADO REQUERIDO	KKS	ESTADO VERIFICADO
+ Valor de flujo neutrónico rango de potencia	100% -	JSB10FX802 -	
+ Potencia del generador	745 MWe	MKA00CE041	
+ Valor requerido de pot. mínima	80% PN	JSA10FX813	
+ Máximo gradiente de variación de potencia	< 5%/min 37,25 MWe/min	MYA01DU001D -	
<i>(Fijar con el sector Física del Núcleo los valores de referencia de "Parte Manual Posición Grupos G10/G20/G30/S10" y "Distribución Axial de Potencia" a ser ajustados cuando se alcance el 80% de la potencia nominal.)</i>	- - - - - -	- - - - - -	
<i>(El valor real de la rampa de variación de potencia será determinado entre lo que pide el OED (Organismo Encargado del Despacho eléctrico) y las posibilidades operativas de la central según el exceso de reactividad disponible en el reactor.)</i>			
+ Gradiente de potencia <i>(Indicación en CWA07DD185)</i>	conectado -	MYA01DU001D -	
+ GRADIENTE DE POTENCIA <i>(Indicación en CWA07DB185)</i>	AJUSTAR A VALOR DESEADO	MYA01DU001D - -	
<i>(El valor debe ser menor al 5%/min que equivale a 37,25 MWe/min)</i>	- -	- -	
+ VALOR DE CONSIGNA DE POTENCIA DE BLOQUE <i>(Indicación en CWA07DE189)</i>	AJUSTAR A 0 MWe (80%PN)	MYA01DU001C - -	
<i>(A 596MWe, chequear potencia del reactor. Cuando potencia del generador es igual a 90 MWe, continuar con la disminución de potencia del generador según instrucción F1.)</i>	- - - - -	- - - - -	

Figura N°10: Instrucción C1 del Manual de Operaciones

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Para entender cómo funciona el gradiente, recurro al plano eléctrico de regulación de potencia de turbina “MYA-Sistema de Control de Turbina CNAII” (Figura N°11).

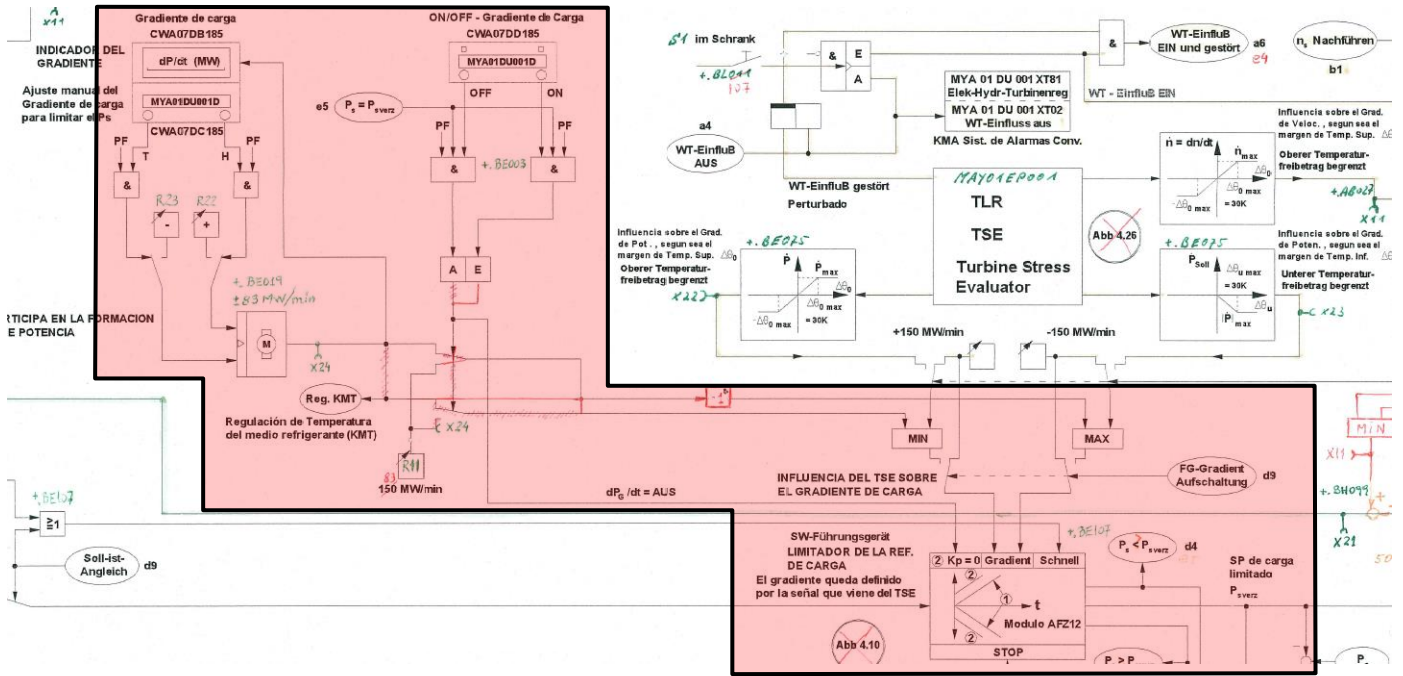


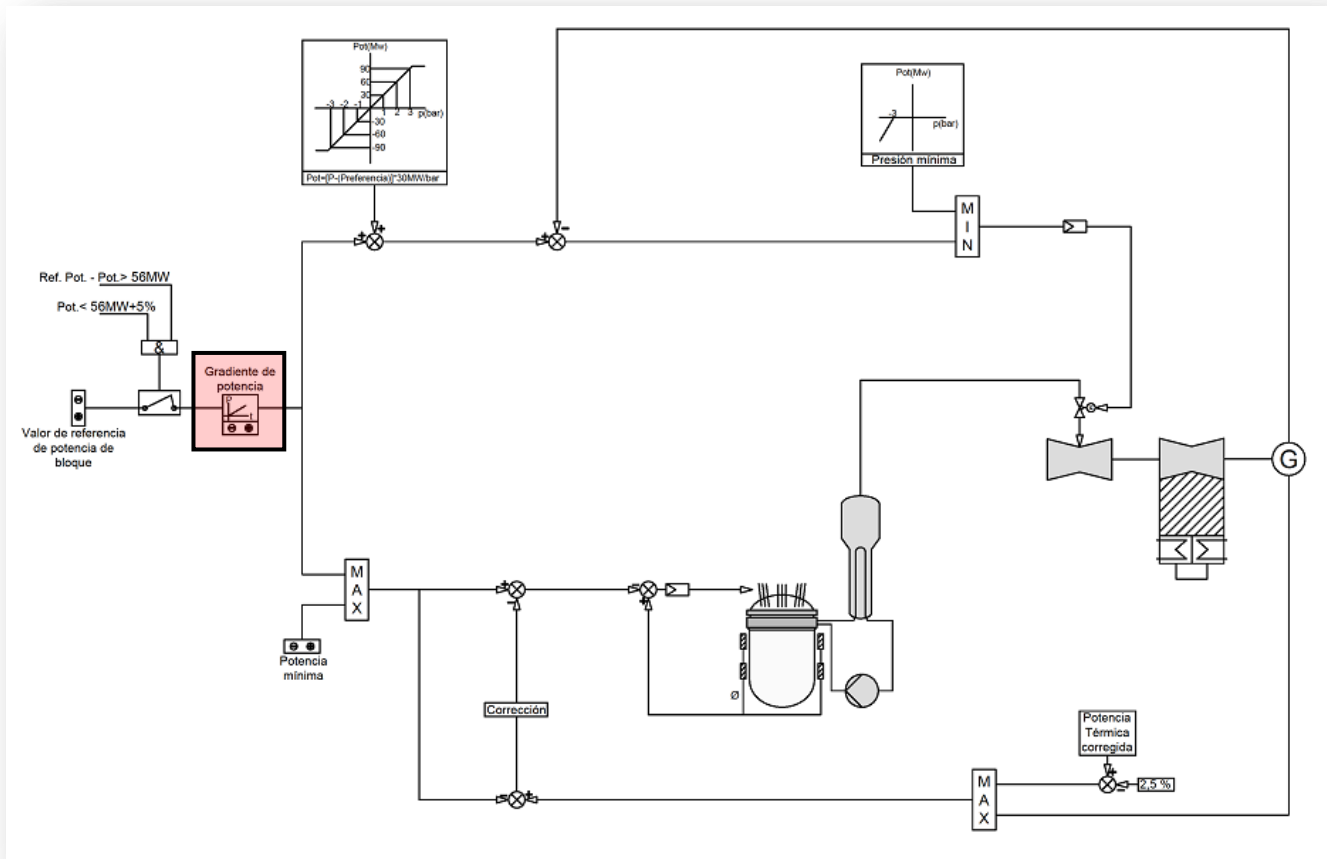
Figura N°11: Gradiente de potencia en el plano eléctrico de regulación de potencia de turbina

El gradiente de potencia se fija a la salida del valor de referencia de potencia de bloque. El objetivo es establecer una velocidad de variación de potencia (tanto aumento como disminución).

A continuación en el Esquema N°7 se agrega una simplificación del gradiente al esquema general de potencia elaborado hasta el momento.

Se puede observar que el gradiente tiene posibilidad de ser fijado y modificado manualmente en todo momento por el operador del circuito primario, basándose en el Manual de Operaciones y consultando al personal de Física del Núcleo.

El gradiente de potencia afecta tanto a la regulación de potencia eléctrica como a la regulación de potencia del reactor.



Esquema N°7: Agregado del gradiente de potencia

3.4.3.2. Apertura del bypass de turbina

Como se observa en el Gráfico N°4, cuando se “separa” la potencia de la turbina de la potencia del reactor (la cual se estabiliza al 80%), se produce un aumento de presión del colector de vapor principal. Si bien la influencia de la presión intenta contrarrestar dicho aumento, ello no es suficiente y la presión aumenta hasta los 56 bar, en donde se estabiliza debido a la apertura de las válvulas de bypass (regulación de presión máxima).

Para entender esta dinámica recorro al plano de regulación eléctrica del bypass, el mismo se adjunta como ANEXO III al final del presente Trabajo.

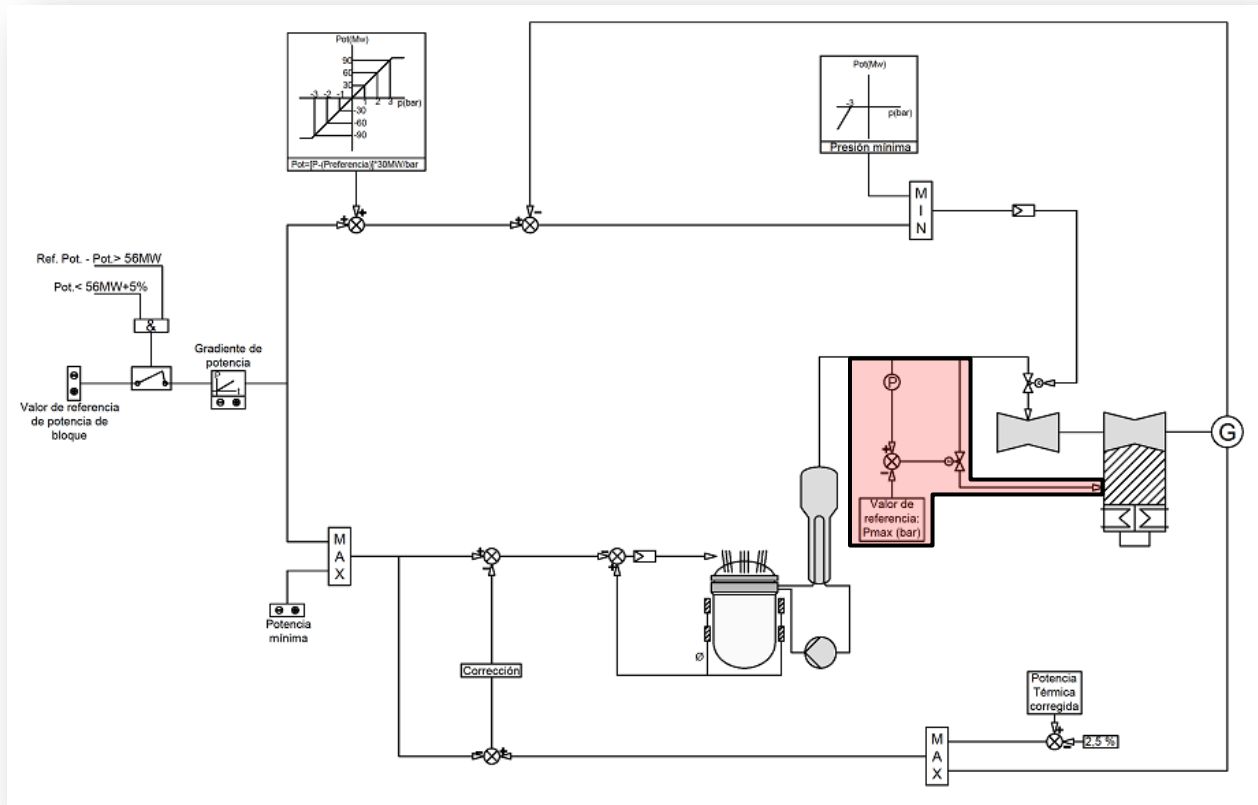
Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

Según el plano, el valor de referencia de presión del bypass es de 56 bar a menos que se inicie el programa de arranque / parada o que se dispare una protección del reactor de enfriamiento por LBA (JRE81ER001). Por lo tanto, si la presión del colector de vapor principal supera los 56 bar, el bypass abrirá con el fin de estabilizarla en ese valor.

Esa es la explicación de por qué la presión se estabiliza en 56 bar cuando se “separa” la potencia eléctrica de la potencia térmica.

No se analiza en detalle la formación del valor de referencia de presión máxima (bypass) dado que forma parte de una regulación independiente y excede el alcance del presente Trabajo Final. Sin embargo en el ANEXO III se adjunta el plano de regulación eléctrica del bypass, dividido en 4 sub-anexos, dada la dimensión del mismo.

A continuación en el Esquema N°8 se realiza un esquema simplificado de la regulación de presión máxima y se lo incluye al esquema general de regulación.



Esquema N°8: Agregado del regulador de presión máxima

3.4.3.3. Regulador de velocidad

Continuando con la parada de planta y con el valor de referencia fijado en 0 MW, se puede observar en el Gráfico N°4 que la potencia eléctrica luego de la “separación” con la potencia térmica, continúa descendiendo y se estabiliza en 90 MW.

Aquí surge la duda de por qué no continúa el descenso hasta los 0 MW tal como se lo fijamos con el valor de referencia.

Analizando la situación, esto concuerda con el accionar de la influencia de la presión, dado que ésta sumaba 30 MW al valor de referencia, por cada bar de presión de vapor por encima de los 53 bar. Como en ese momento la presión se encontraba en 56 bar, es lógico que la potencia eléctrica se estabilice en 90 MW: 0 MW del valor de referencia + 90 MW agregados por la influencia de la presión.

Hasta aquí la planta se comporta según lo esperado por parte de la regulación, pero el problema es que se están generando 90 MW y en esta condición no es recomendable realizar el disparo de turbina (con el objetivo de seguir con las maniobras de parada de planta) dado que se formaría un arco importante en el interruptor de bloque y aumentaría la probabilidad de incurrir en una corriente de emergencia.

Debido a esto y para continuar con la parada de planta, recorro al Manual de Operaciones. El mismo solicita tomar el control de la potencia eléctrica con el regulador de velocidad de turbina.

En la Figura N°12 se incluye la Instrucción F1 del Manual de Operaciones en donde se pueden observar las maniobras a realizar para continuar con la parada de planta, en donde indica que se debe tomar el control con el regulador de velocidad.

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

F1- Disminuir potencia del generador			
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	ESTADO REQUERIDO	KKS	ESTADO VERIFICADO
Cuando: + VALOR DE CONSIGNA RETARDADO EFECTIVO Entonces: + CONTROL DE CARGA (CWA07CR189) <i>(La desconexión del regulador de potencia se hará efectivo cuando el valor requerido por el regulador de velocidad sea mayor al requerido por el regulador de potencia.)</i> + INCREMENTO VEL. REF. (Hasta observa luz "ctrol. por velocidad" presente.) (CWA07CU193)	$\cong 90$ MWe - DESCONECTAR - - - - - SUBIR - - -	MYA01DU001J - MYA01DU001B - - - - - MYA01DU001A - - -	
<i>(En caso que se quiera incrementar la velocidad de enfriamiento de la turbina, continuar con esta instrucción. Caso contrario, continuar con instrucción G1.)</i>			
+ INCREMENTO VEL. REF. (CWA07CU193) Cuando: + Potencia del generador Entonces: + PULSADOR TUSA (CWA07CA185) <i>(Verificar acciones producidas por TUSA.)</i>	BAJAR - $\cong 10$ MWe PULSAR - -	MYA01DU001A - MKA00CE041 - - -	

Figura N°12: Instrucción F1 del Manual de Operaciones

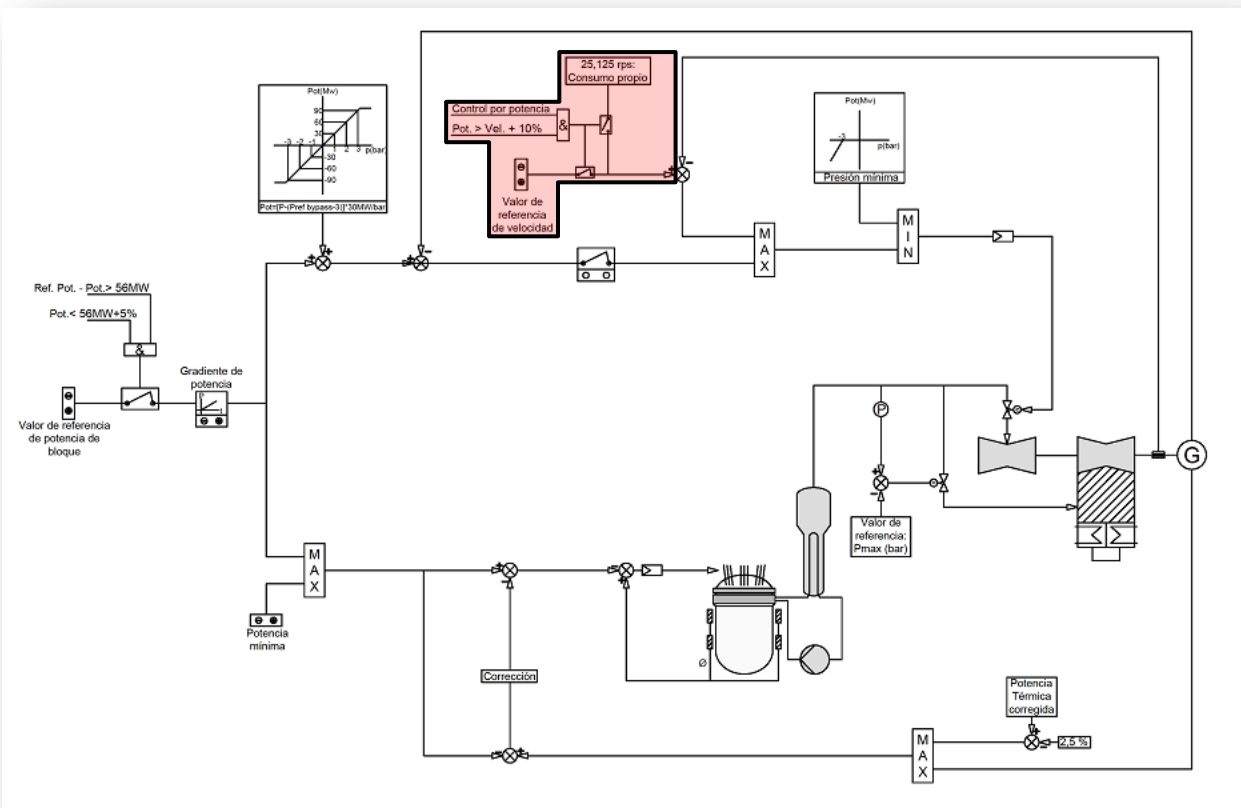
Para entender cómo trabaja el regulador de velocidad, recorro al plano eléctrico de regulación de potencia de turbina "MYA-Sistema de Control de Turbina CNAII". (No se

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

incluye el esquema del regulador de velocidad en el presente trabajo dado que resulta ilegible en las dimensiones de una hoja A4).

Del plano se deduce que el regulador de velocidad compite en una compuerta de máximos con el regulador de potencia. Por ese motivo el Manual de Operaciones solicita desconectar el regulador de potencia y subir el valor de referencia de velocidad, de esta manera se logra ganar en la compuerta de máximos y tomar el control de la turbina. Una vez tomado el control se puede descender potencia hasta los 10 MW con el regulador de velocidad, en donde se realiza el disparo manual de turbina (según Manual de Operaciones).

A continuación se realiza un esquema simplificado del regulador de velocidad (con el switch de desconexión del control por potencia) y se lo incluye al esquema general de regulación que se viene construyendo en el presente Trabajo:



Esquema N°9: Agregado del regulador de velocidad al esquema general de potencia

4. CONCLUSIONES

Mediante la utilización del Simulador de Alcance Total de CNAII pude simular distintos escenarios que elegí previamente con el fin de comprender la dinámica de la regulación de potencia global.

Para ello recurrí a los distintos planos de regulación de turbina, bypass y regulación de potencia del reactor, y luego de su interpretación generé un esquema conceptual con fines didácticos.

En el ANEXO IV se presenta el esquema generado en el presente Trabajo Final, en donde se especifica el KKS de las señales que se pueden visualizar en Sala de Control.

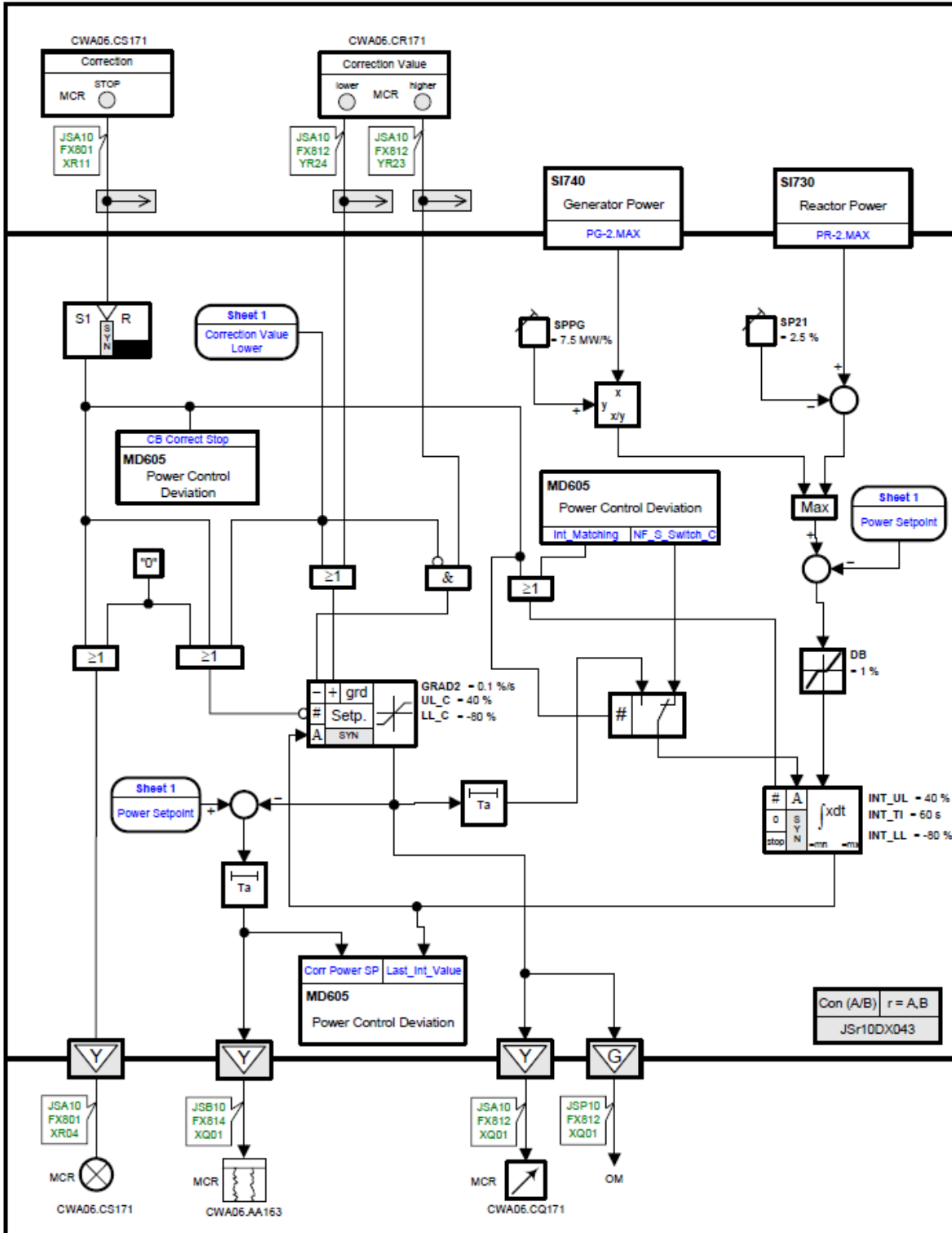
Dicho esquema se utilizará en el dictado de cursos sobre regulación de potencia en el Simulador de Alcance Total, para personal de Operaciones e Ingeniería de Atucha II.

5. ANEXOS

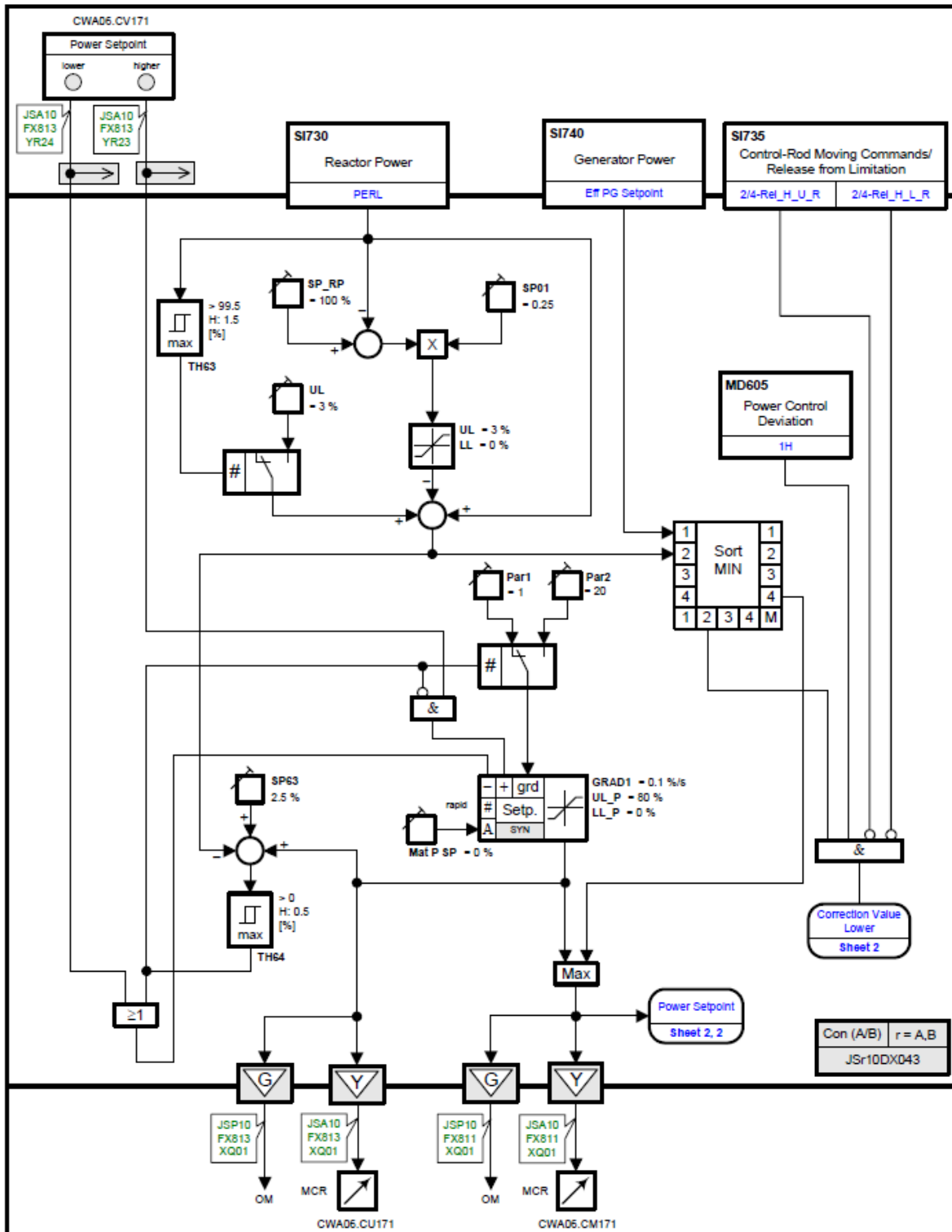
- **ANEXO I:** CORRECCIÓN DE POTENCIA DEL REACTOR – LEVEL 4
- **ANEXO II:** REFERENCIA DE POTENCIA DEL REACTOR O POTENCIA MÍNIMA – LEVEL 4
- **ANEXO III:** REGULACIÓN ELÉCTRICA DEL BYPASS
 - **ANEXO III-A:** VALOR DE REFERENCIA DE ARRANQUE Y PARADA
 - **ANEXO III-B:** VALOR DE REFERENCIA DE ALIVIO
 - **ANEXO III-C:** REGULACIÓN DE PRESIÓN
 - **ANEXO III-D:** REGULACIÓN DE POSICIÓN
- **ANEXO IV:** REGULACIÓN DE POTENCIA GLOBAL - ESQUEMA FINAL GENERADO

Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

ANEXO I: CORRECCIÓN DE POTENCIA – LEVEL 4

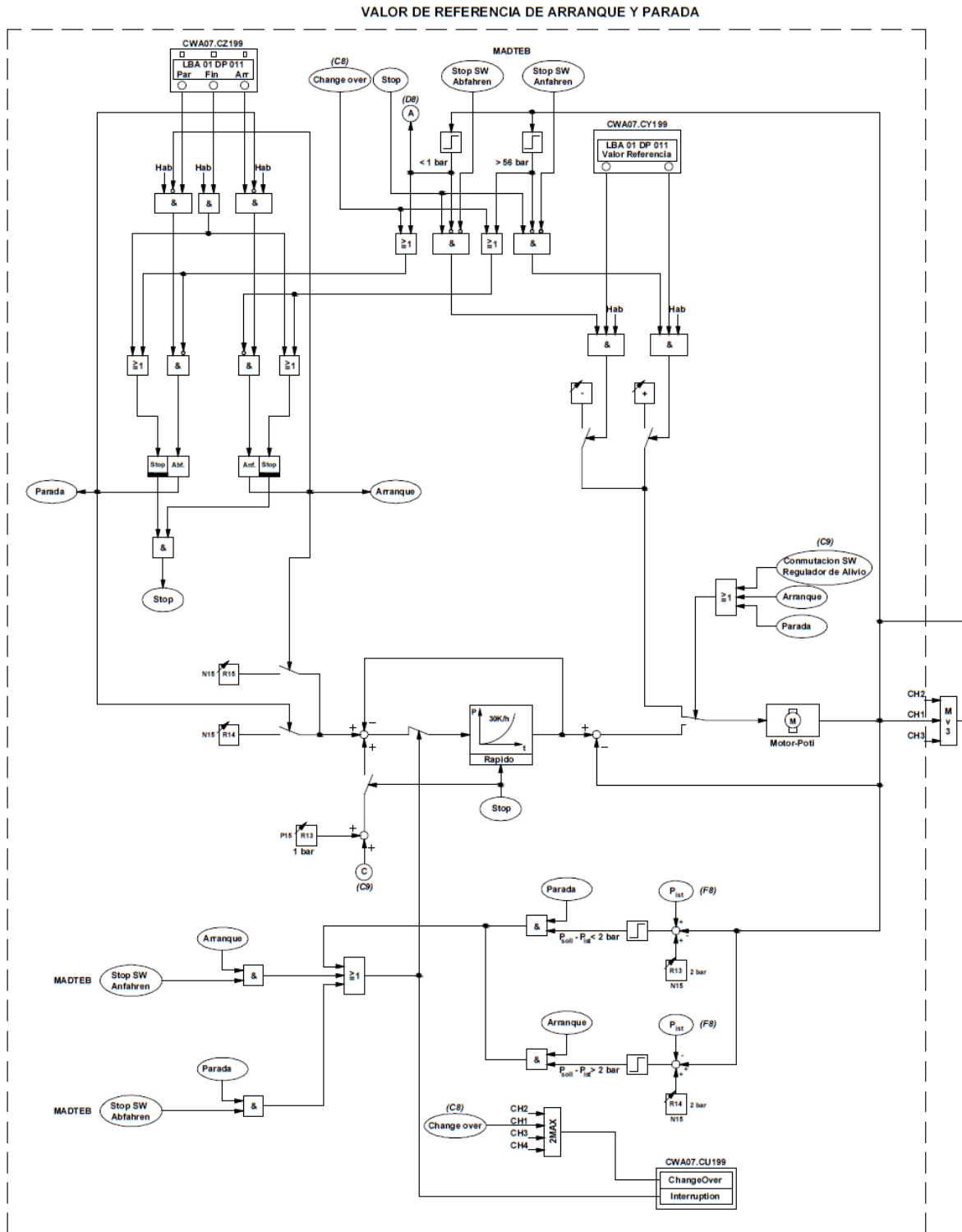


ANEXO II: REFERENCIA DE POTENCIA DEL REACTOR O POTENCIA MÍNIMA – LEVEL 4



ANEXO III: REGULACIÓN ELÉCTRICA DEL BYPASS:

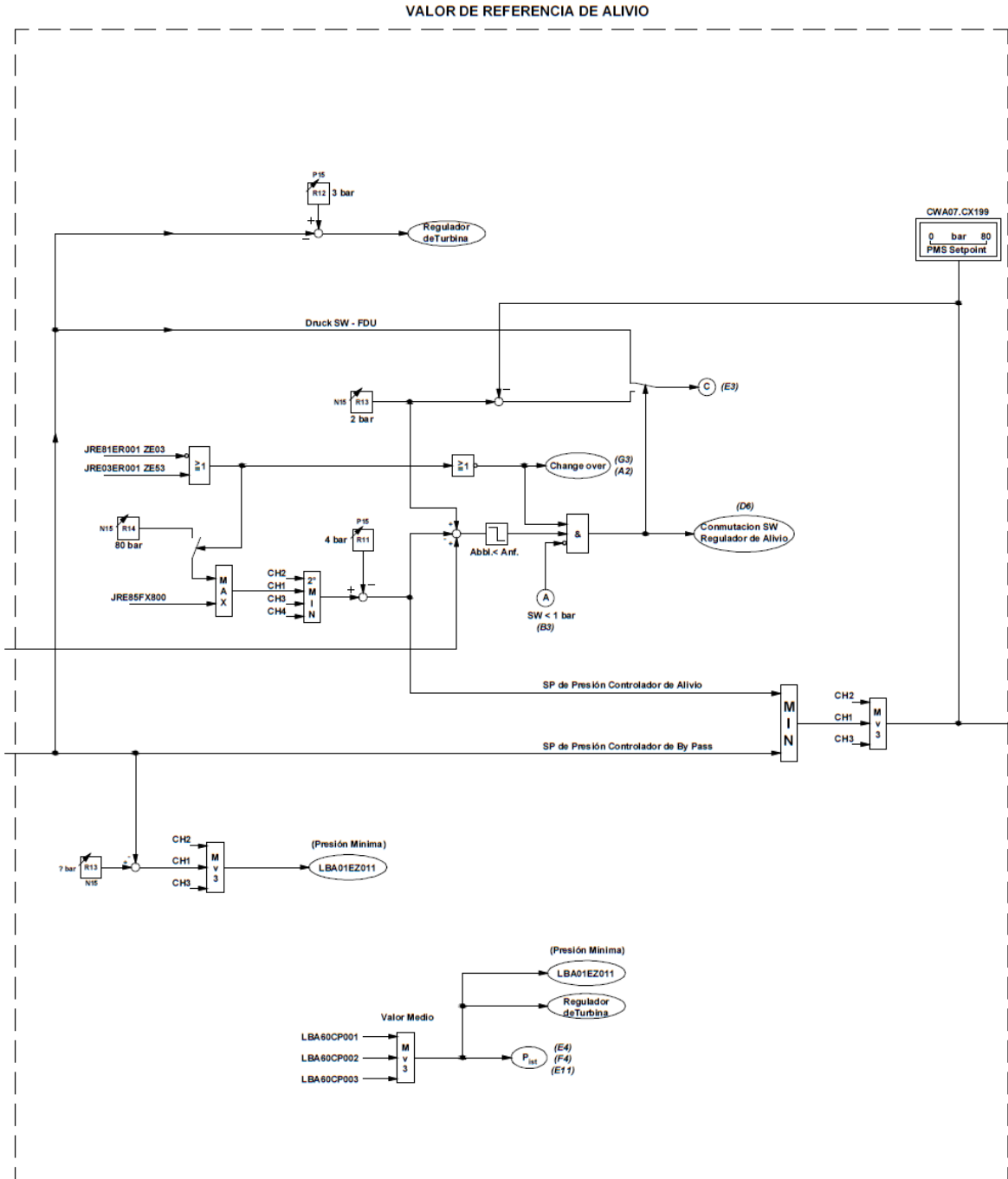
ANEXO III-A: VALOR DE REFERENCIA DE ARRANQUE Y PARADA



Dinámica de la regulación de potencia global de CNAII

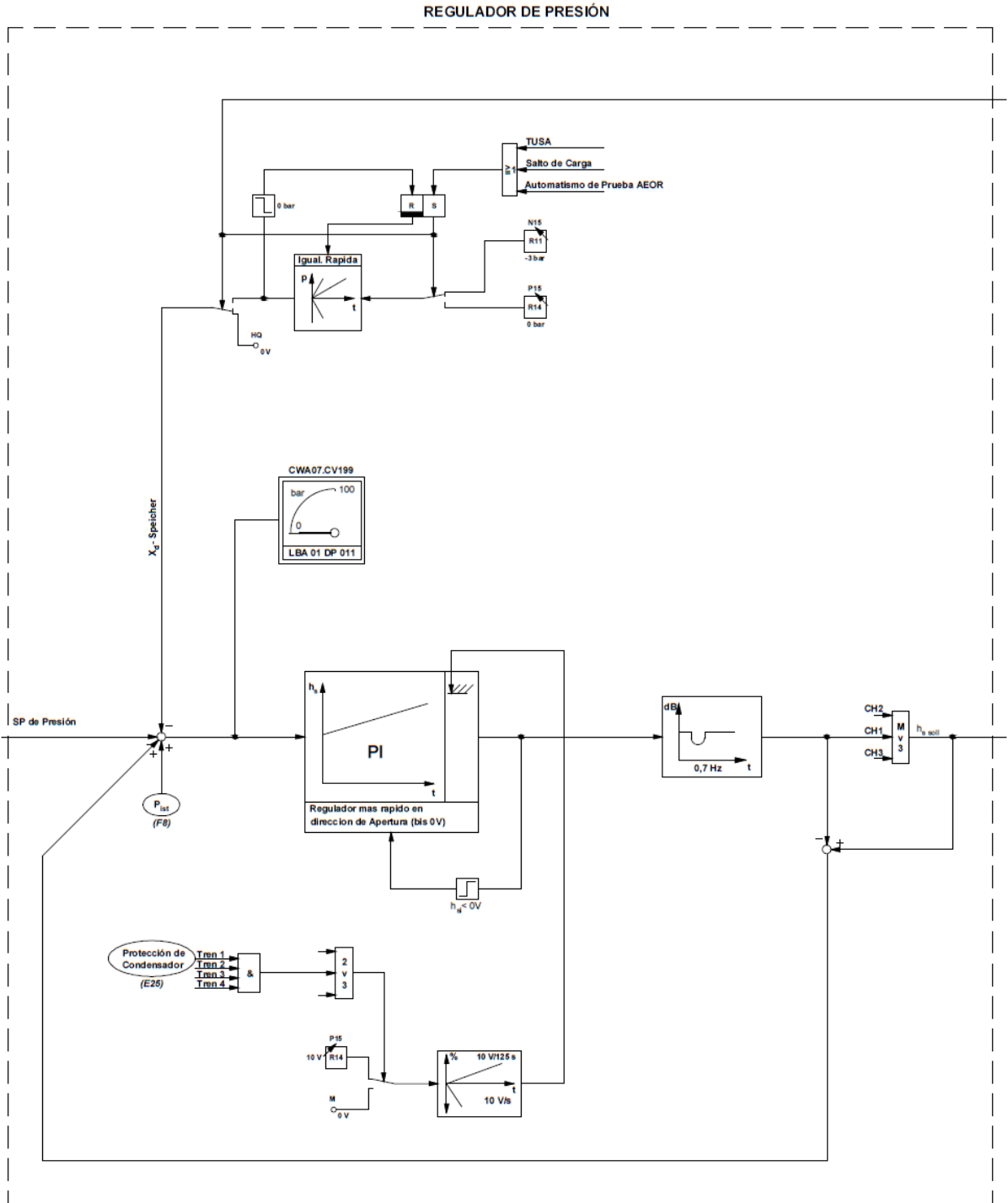
ANEXO III: REGULACIÓN ELÉCTRICA DEL BYPASS

ANEXO III-B: VALOR DE REFERENCIA DE ALIVIO



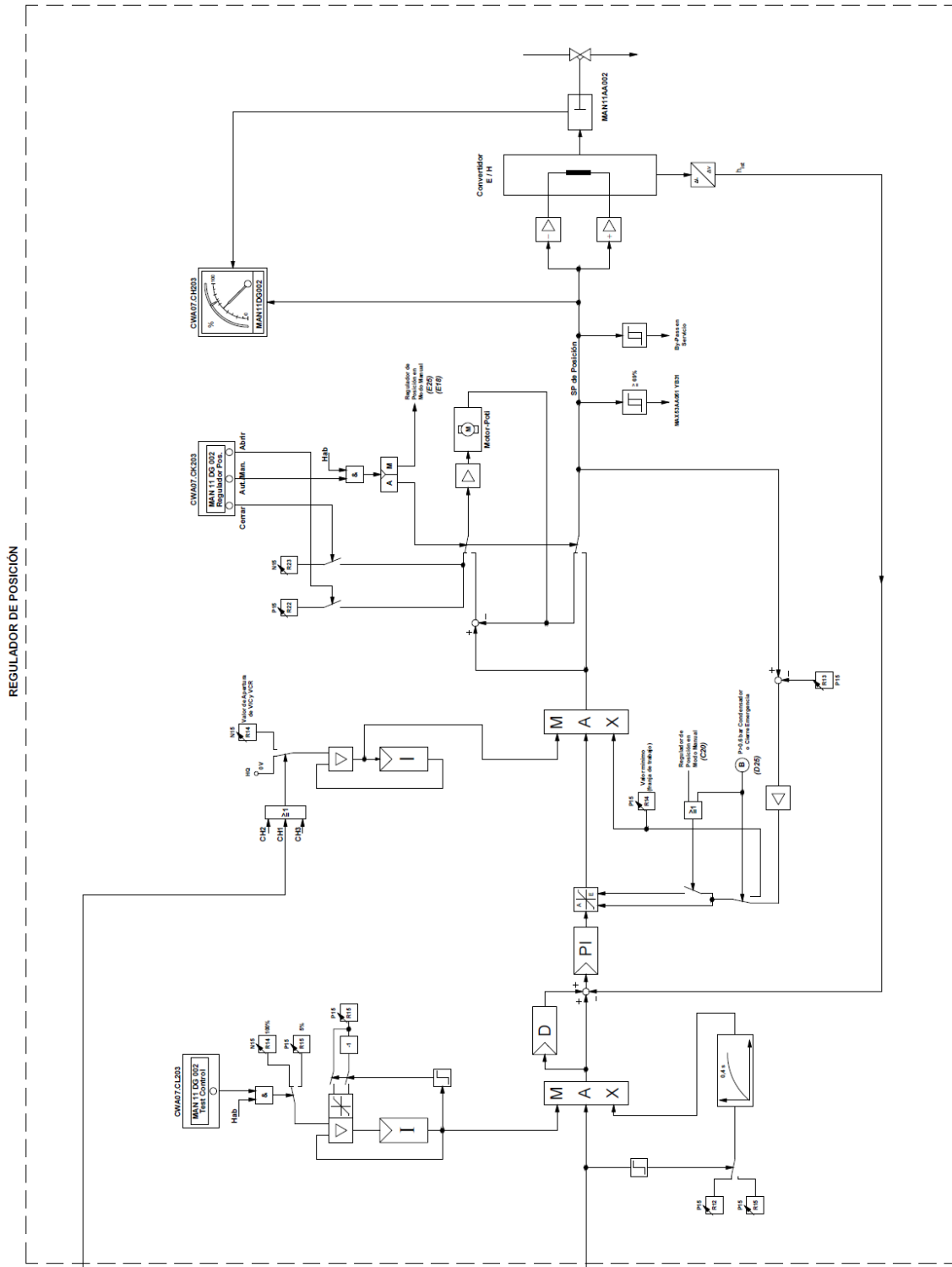
ANEXO III: REGULACIÓN ELÉCTRICA DEL BYPASS

ANEXO III-C: REGULACIÓN DE PRESIÓN



ANEXO III: REGULACIÓN ELÉCTRICA DEL BYPASS

ANEXO III-D: REGULACIÓN DE POSICIÓN



ANEXO IV: REGULACIÓN DE POTENCIA GLOBAL - ESQUEMA FINAL GENERADO

