MINUTA
OPERACIÓN DE LA PLANTA PRODUCTORA DE CELULOSA ARAUCO LÍNEA 3
TER ARAUCO MAPA
AGOSTO - 2025

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo proporcionar un respaldo técnico a la imposibilidad de Planta Arauco Línea 3 (L3), también conocida por el CEN como TER Arauco MAPA, de entregar los servicios complementarios de Control Primario (CPF) y Secundario de Frecuencia (CSF).

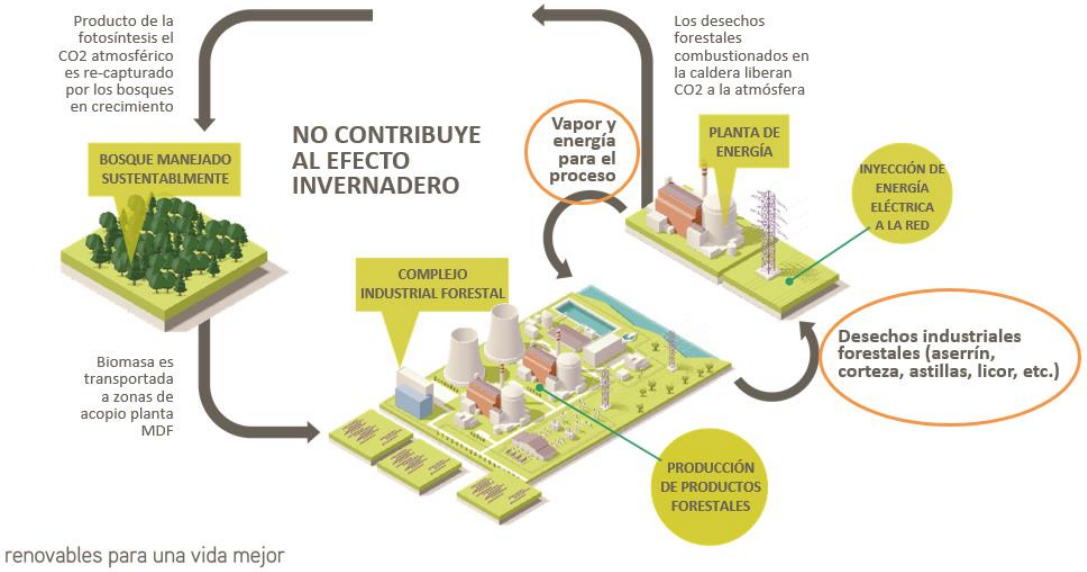
La principal razón de esta imposibilidad es que la generación de energía eléctrica en la planta no es un proceso autónomo ni independiente, sino que está íntimamente integrado y subordinado al proceso productivo de celulosa. Es decir, la producción de vapor y electricidad es una consecuencia directa de las necesidades operacionales del proceso industrial principal, y no una actividad planificada con fines de generación comercial flexible.

2. ANTECEDENTES

La Línea 3 (L3) de producción de celulosa de Planta Arauco se construyó como parte del proyecto MAPA (Modificación y Ampliación de Planta Arauco) y en conjunto con la línea 2 (L2) de producción de celulosa forman la Planta de Celulosa Arauco y a su vez esta Planta de celulosa es parte del Complejo Forestal e Industrial Horcones que se encuentra ubicado en la región del Bio-Bio, comuna de Arauco. La L3 de Planta Arauco tiene una producción anual estimada de 1.500.000 ADt y contiene como parte de su proceso productivo una planta de energía que produce vapor y energía eléctrica para la producción de celulosa. Esta parte del proceso está bajo el concepto de economía circular, ya que se queman sus desechos (biomasa y licor negro) para producir la energía (vapor y electricidad) necesaria para abastecer el proceso de producción de celulosa en un circuito en que los excedentes de energía eléctrica que no son consumidos por el proceso industrial se inyectan al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Esta inyección de la energía eléctrica excedente es necesaria realizar como parte del proceso, para dar cuenta ambientalmente de los desechos industriales y además llegar al nivel de producción de diseño de la planta. La parte de la energía eléctrica que es inyectada a la red es lo que constituye para efectos del CEN la Central Autoproductora Arauco MAPA o TER Arauco MAPA.

La Central autoproductora aporta sus excedentes de energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional a través de la S/E Lagunillas en 220 kV.

Esquema General Planta Autoproductora



La planta de celulosa cuenta con una caldera de poder (CP5) y una caldera recuperadora (CR3), dos turbinas para producir vapor para el proceso a distintas presiones y dos generadores (TG7 y TG8). Las unidades generadoras tienen una capacidad nominal de 139,1 MW y 175 MW respectivamente y su producción de energía eléctrica abastece y depende del proceso productivo, mientras que sus excedentes se inyectan al sistema eléctrico. En la tabla N°1, se encuentran las principales características de los grupos turbinas generador (TG).

Nombre	Equipo	Fabricante	Tipo	Potencia Nominal (MW)
TG7	Turbina 7	Siemens	Contrapresión	139,1
	Generador 7	Siemens	Sincrónico	
TG8	Turbina 8	Siemens	Condensación	175
	Generador 8	Siemens	Sincrónico	

Tabla N°1: Principales características Turbogeneradores

En la tabla N°2, se encuentran las principales características de la caldera recuperadora y de poder de la planta de celulosa Arauco MAPA.

	Caldera
Tipo	Poder (CP5)
Fabricante	VALMET
Combustible	**Biomasa**
Capacidad Nominal	225 ton/hora
Presión (bar) /Temperatura (°C)	107 / 495
Tasa de carga caldera	3,4 %/min

	Caldera
Tipo	Recuperadora (CR3)
Fabricante	VALMET
Combustible	**Licor Negro**
Capacidad Nominal	1.100 ton/hora
Presión (bar) /Temperatura (°C)	107/ 495
Tasa de carga caldera	0,23 %/min

Tabla N°2: Principales características calderas

2.1 LA FUNCIÓN DE LA CALDERA RECUPERADORA

La caldera recuperadora es uno de los equipos más importantes en el proceso de producción de celulosa, ya que desempeña un papel central en el ciclo químico de recuperación de los compuestos presentes en el licor negro, necesarios para la digestión de la biomasa. En el digestor, la madera se somete al **licor blanco**, que contiene los químicos necesarios para separar las fibras de celulosa, generando pulpa para la fabricación de celulosa y licor negro, una mezcla de lignina disuelta, hemicelulosas degradadas y químicos residuales de la cocción.

El **licor negro** se concentra en evaporadores y luego se dirige a la caldera recuperadora. Durante la combustión en la caldera, se queman los compuestos orgánicos del licor negro, liberando una gran cantidad de energía térmica, y se concentran los compuestos inorgánicos, obteniendo un fundido que, al disolverse en aguas débiles del proceso de caustificación, da origen al **licor verde**. La quema del licor negro en la caldera recuperadora para obtener el licor verde es un proceso complejo que debe equilibrar varias variables para evitar la incineración y pérdida de los químicos. Este licor verde es la base para la elaboración del **licor blanco**, que finalmente retorna al digestor para reiniciar el ciclo.

De esta manera, la caldera recuperadora es esencial en el circuito de licores de la planta: el digestor genera **licor negro**, la caldera lo transforma en **licor verde**, y mediante el proceso de caustificación y el horno de cal, se regenera el **licor blanco** que alimentará nuevamente el digestor. **La calidad del licor verde producido en la caldera es crucial**, ya que debe cumplir con características químicas específicas para asegurar la elaboración del licor blanco.

Además de su función de recuperación, la caldera recuperadora también genera vapor de alta presión. La energía liberada durante la combustión del licor negro se utiliza para

producir vapor, que alimenta las necesidades del proceso a través de los turbogeneradores de la planta, TG7 y TG8, los cuales transforman parte de esa energía en electricidad. Gracias a este esquema, la planta puede ser autosuficiente en términos energéticos e incluso generar excedentes.

2.2 LA PRODUCCIÓN Y USO DEL VAPOR

La producción de vapor se realiza en calderas utilizando el licor negro y la biomasa, ambos subproductos del proceso de producción de celulosa, los cuales son quemados para dar cuenta ambientalmente de estos desechos industriales a la vez que son utilizados en la producción de energía (vapor y energía eléctrica). El licor negro se quema en la caldera recuperadora N°3 y la biomasa en la caldera de poder N°5, el vapor producido por ambas calderas se inyecta en un colector común de alta presión desde donde se alimenta de vapor las dos unidades turbogeneradoras con que cuenta esta planta. El vapor de alta presión de la caldera Nº3, en condiciones normales de operación es suficiente para abastecer completamente la unidad turbogeneradora TG7 y parte de la capacidad de la unidad turbogeneradora TG8, como parte del proceso ambos turbogeneradores adecuan el vapor de alta presión a media presión y baja presión. En el proceso de producción de celulosa, el vapor es un insumo crítico y se utiliza en varias etapas clave del proceso industrial, tales como digestión de la madera, lavado y depuración de la pulpa, blanqueo, secado de la pulpa y evaporadores de licor negro donde se concentra y recupera los productos químicos que fueron utilizados en el proceso de separación de la fibra de la lignina del árbol.

Los combustibles disponibles para la producción del vapor necesario para el proceso son los siguientes:

- Licor Negro: Este subproducto del proceso de celulosa no es realmente un combustible en sí mismo, sino un residuo del proceso de utilización de la madera para producir celulosa. Aprovechando su poder calorífico, este residuo se quema en la caldera recuperadora (N°3) para producir el licor verde (que luego será transformado en licor blanco y usado en el Digestor) y energía térmica en forma de vapor de agua a alta presión. Sin embargo, el licor negro no es homogéneo, por lo que, al ser quemado, la energía térmica producida no es constante, sino variable.

- Biomasa interna: Es un desecho del proceso de producción de celulosa producido en el descortezado de los árboles, este desecho es quemado en la caldera de poder para dar cuenta ambientalmente de este desecho. Este combustible se quema en la caldera de poder (N°5) y el vapor resultante se inyecta en un colector común de alta presión para ser utilizado en ambas unidades turbogeneradoras.

- Biomasa externa: Es comprada a productores externos de biomasa forestal y trasladada a la planta. Lo que se busca es una biomasa de alto poder calorífico que permita compensar biomasa interna húmeda o de menor poder calorífico tal que permita un adecuado quemado en la caldera de poder N°5. El vapor de esta caldera se inyecta en el colector común de vapor de alta presión y en condiciones normales de operación este vapor es utilizado en la unidad TG8.

3. OPERACIÓN DE LA PLANTA DE ENERGÍA

La planta de producción de celulosa tiene como parte integral de su proceso una planta de producción de energía compuesta por dos calderas y dos turbogeneradores, que produce vapor de alta presión y energía eléctrica. El combustible utilizado por las calderas corresponde a licor negro y biomasa, ambos subproductos del propio proceso de producción, que deben ser consumidos de manera continua. En este esquema, la producción y uso del vapor constituyen un elemento crítico para asegurar la estabilidad operacional de toda la planta.

El proceso de producción de energía eléctrica se ilustra en las figuras 1 y 2, donde se muestra cómo ambas calderas (caldera recuperadora N°3 y caldera de poder N°5) inyectan el vapor que producen en un colector común de alta presión (HP). Desde este colector, el vapor alimenta a los turbogeneradores TG7 y TG8. Al pasar el vapor por las turbinas, pierde presión debido a la carga que generan los turbogeneradores al producir energía eléctrica, la cual se consume en una carga eléctrica (cogeneración). El control de la producción de energía eléctrica debe mantener estable la presión del vapor de alta presión en el colector común, así como las presiones en las extracciones de vapor de media presión (MP) y baja presión (LP), para abastecer el proceso de producción de celulosa con los niveles de presión requeridos. De esta forma, las calderas queman los desechos del proceso al ritmo de la producción de celulosa, produciendo vapor de alta presión, y las turbinas consumen el vapor, generando energía eléctrica de manera que se mantengan las presiones de alta, media y baja presión en un proceso continuo, dependiente, integrado y estable.

En cuanto a los turbogeneradores, la turbina de la unidad TG7 es de contrapresión, por lo que el 100% del vapor que ingresa a esta unidad y que sale como vapor de media y baja presión abastece el proceso de celulosa. Esto significa que el 100% de la energía eléctrica que produce esta unidad es cogenerada, dependiendo exclusivamente de la demanda de vapor de media y baja presión del proceso. En el caso de la unidad TG8, esta posee una extracción de vapor de baja presión para el proceso y una descarga a condensación que se utiliza en parte para absorber variaciones en el vapor del proceso. En consecuencia, parte de su generación también es cogenerada y depende de la demanda del proceso, pero otra fracción se puede asimilar como una generación convencional. Esta fracción de la generación de energía eléctrica puede ser aumentada más allá del consumo de vapor del proceso, no obstante, su flexibilidad es limitada, pues debe mantener estable la entrega de vapor al proceso.

Respecto del modo de control de los reguladores de las unidades generadoras, en condiciones normales de operación, esto es con el nivel de producción de celulosa de diseño y con la planta conectada al SEN, una unidad generadora operan con su regulador de velocidad (GOV) operando en modo de control de presión del vapor de proceso de media y baja presión, la otra unidad opera con su regulador de velocidad (GOV) operando en modo de control de presión del vapor del colector de alta presión, de esta forma las unidades generadoras van siguiendo la producción de vapor de las calderas y las calderas van quemando el nivel de combustible que está produciendo el proceso productivo. En esta condición la producción de energía eléctrica es mayor que el consumo de energía eléctrica

de la planta y en consecuencia se producen excedentes de energía eléctrica que son inyectados al sistema eléctrico nacional, debido a esta condición y por el monto de la inyección de energía excedente entregada a la red, la planta constituye para el sistema eléctrico una central generadora Autoproductora.

Así en la condición de autoproductor, cuya generación es un resultado del proceso (Reglamento de la Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional DS 125/2017), la generación eléctrica de la planta no puede gestionarse como una unidad convencional del sistema eléctrico, ya que depende directamente del ritmo de producción de celulosa y de la disponibilidad de combustibles residuales. Además, el vapor que demanda el proceso requiere ser suministrado en distintos niveles de presión que son controlados por el sistema de control de cada turbina. En consecuencia, **los excedentes eléctricos son el resultado de un proceso continuo e integrado y dependen de las variaciones del proceso**. En este contexto, no resulta factible un control externo al proceso productivo que controle el nivel de generación de energía eléctrica de las unidades generadoras, como puede ser un control de frecuencia primario o secundario, por cuanto ello responde a señales externas que no estarían en sintonía con el control de presión del vapor a proceso ni con el nivel de producción del combustible residual, lo que pondría en serio riesgo la estabilidad del proceso.

Un caso especial de operación de la planta ocurre cuando, debido a fallas en el sistema eléctrico, las protecciones abren la línea de conexión con el sistema eléctrico, dejando la planta en una isla eléctrica. En esta situación, la planta entra en un modo de operación de emergencia para evitar la caída completa del proceso. Se equilibra la generación con la demanda interna, liberando vapor transitoriamente para equilibrar las presiones. El vapor excedente se pasa por válvulas reductoras de presión que son controladas por el sistema de control del proceso para estabilizar el abastecimiento del vapor de media y baja presión. Una unidad generadora toma el control de la frecuencia eléctrica y la otra unidad controla el vapor de alta presión del colector común y el nivel de quemado en las calderas se opera manualmente. La planta pasa a un modo de operación restringido en el que se suspenden todo tipo de trabajos prescindibles para estabilizar la demanda. Como se puede ver, esta condición de operación no es sostenible a mediano y largo plazo y representa una situación claramente riesgosa.

3.1 CASO DEL MÍNIMO TÉCNICO

En cuanto a la producción tanto de vapor como de electricidad para este caso, se debe considerar que esta es una industria de producción de celulosa y los niveles de producción de esta son definidos únicamente por el proceso. Consecuentemente, las condiciones mínimas del proceso de producción de vapor se pueden establecer cuando el proceso de producción de celulosa alcanza su condición de operación en régimen, lo cual considera el quemado de la totalidad del licor negro producido en la caldera recuperadora (CR3) y el total del quemado de la Biomasa en la caldera de poder (CP5). En esta condición la planta alcanza su condición de operación normal, estable y de régimen, produciendo vapor y energía eléctrica acorde al proceso.

En esta condición la producción de energía eléctrica es mayor que el consumo de energía eléctrica de la planta y en consecuencia se producen excedentes de energía eléctrica que son inyectados al sistema eléctrico nacional, esta condición de operación se denomina de mínimo excedente y equivale a la condición de mínimo técnico de la central Autoproductora.

Los niveles de quemado de combustible en esta condición, en las dos calderas asociadas a la Línea 3 de producción de celulosa tienen como resultado la producción de aproximadamente 1115 t/h de vapor en el Colector de Alta Presión, lo cual, considerando los requerimientos de vapor y electricidad del proceso de producción de celulosa, da como resultado la generación de energía eléctrica por parte de los turbogeneradores TG7 y TG8, y el nivel de excedentes que se muestran en el balance de energía de la figura 1 que se presenta a continuación:

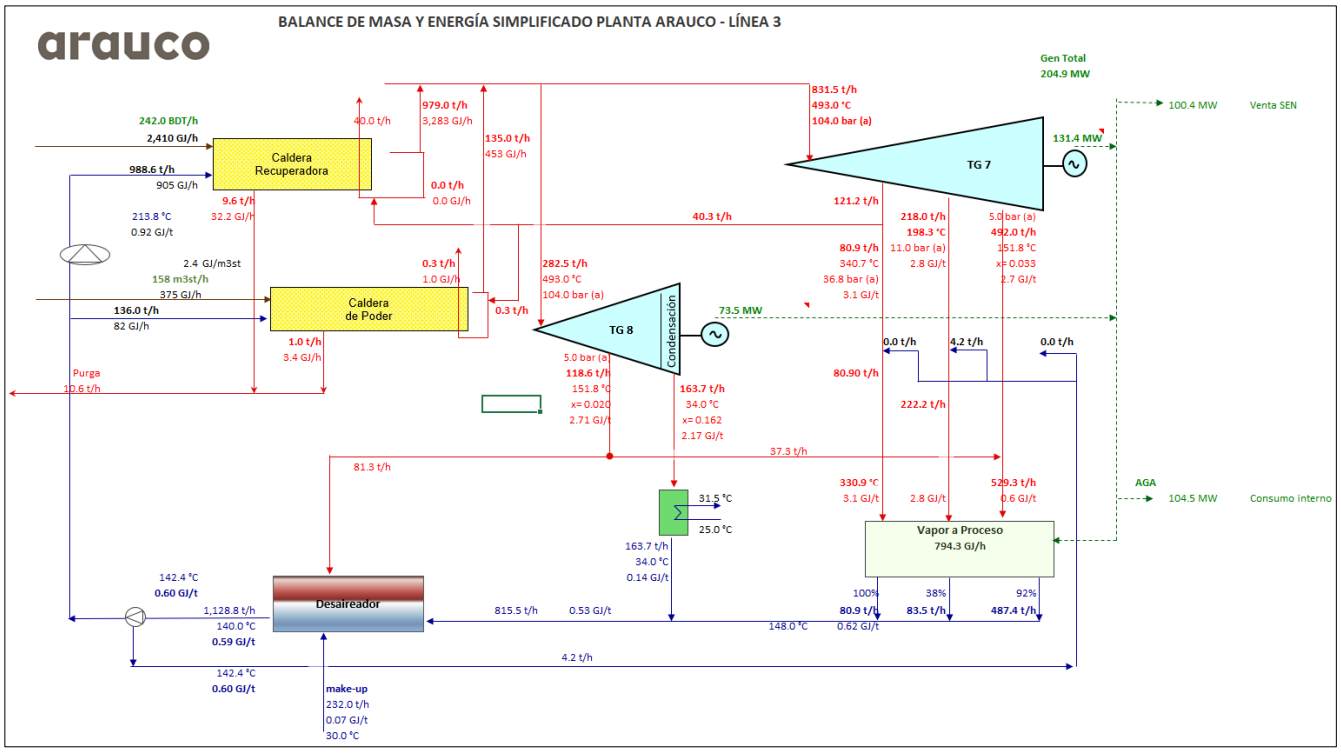


Figura 1: Balance de energía caso mínimo técnico de excedentes

3.2 CASO DEL MAXIMO EXCEDENTE

Para el caso de máximo excedente, adicionalmente a la producción de vapor del caso anterior, se realiza el quemado de Biomasa externa en la caldera de poder (CP5) por un valor en torno a 160 m3st/h, totalizando aproximadamente 320 m3st/h de suministro de biomasa a la caldera de poder. La producción adicional de vapor va al condensador del TG8 y queda limitado por la capacidad de este. Los niveles de quemado de licor negro y biomasa antes señalados en las dos calderas asociadas a la Línea 3 de producción de celulosa tienen como resultado la generación de aproximadamente 1240 t/h de vapor en el Colector de Alta Presión, lo cual, considerando los requerimientos de vapor y electricidad del proceso de producción de celulosa, da como resultado la generación de energía eléctrica en los turbogeneradores TG7 y TG8, que se muestran en el balance de energía de la figura 2 que se presenta a continuación:

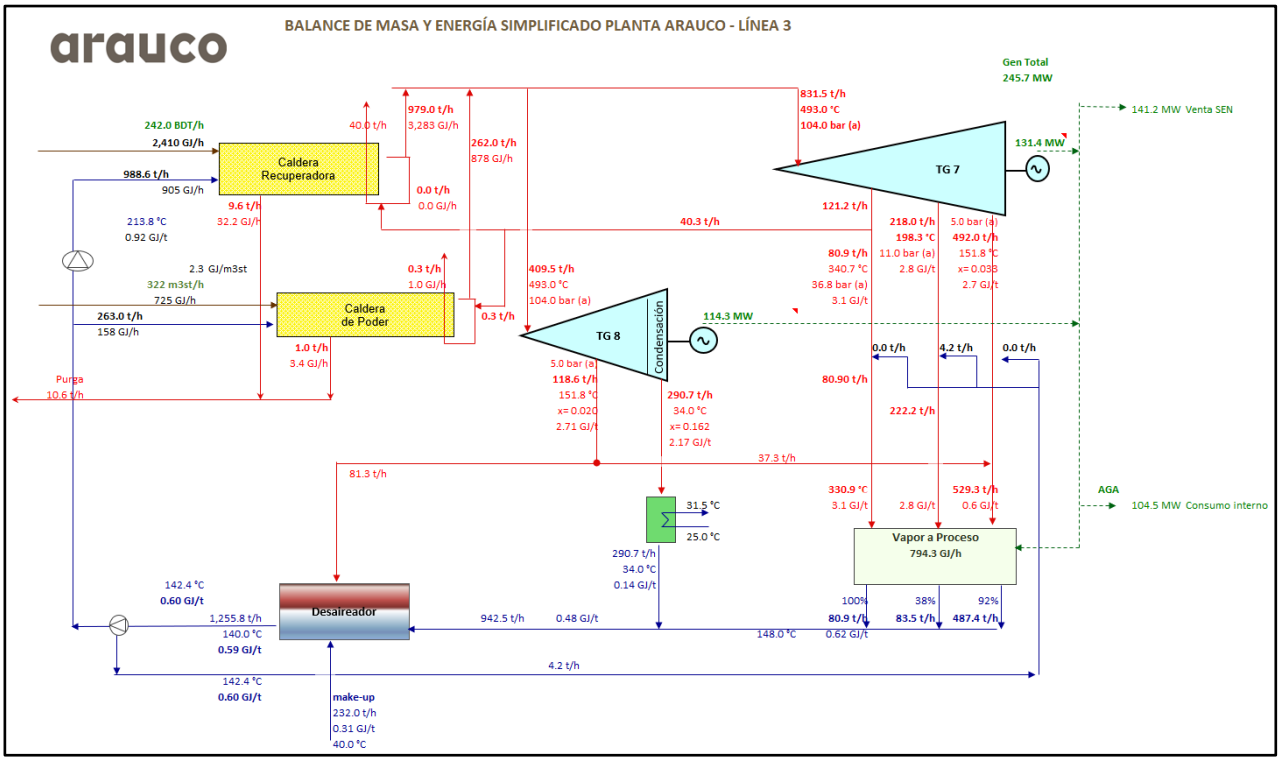


Figura 2: Balance de energía caso máximos excedentes

4. CONCLUSIONES

Con base en el análisis técnico-operacional de la Central Autoproductora Arauco MAPA realizado en esta minuta, se establecen las siguientes conclusiones:

La generación de energía eléctrica en la planta es un proceso subordinado a la producción de celulosa y la gestión de sus residuos industriales. El sistema de control está diseñado para la estabilidad de las presiones del vapor, un objetivo que es fundamentalmente incompatible con la modulación de potencia requerida por el Control Primario y Secundario de Frecuencia del SEN.

La naturaleza de los combustibles residuales (licor negro no homogéneo y biomasa) y la necesidad de consumirlos de forma continua y a un ritmo constante, inherente al proceso industrial, imposibilitan la flexibilidad de generación necesaria para responder a las señales de control externo de forma confiable.

Cualquier intento de implementar un control externo para la regulación de frecuencia pondría en grave riesgo la continuidad operacional, la seguridad de la planta y la estabilidad del proceso productivo, lo que convierte la prestación de estos servicios en una opción técnicamente inviable.

Se reafirma que la Central Arauco MAPA, en su condición de autoproductora, no presenta las condiciones técnicas ni operativas para participar en los servicios de Control Primario y Secundario de Frecuencia. Su régimen de operación, cuyo propósito principal es la producción de celulosa y la cogeneración, justifica su exclusión de estas responsabilidades, garantizando la continuidad de su producción y la integridad del SEN.