

PROCESO DE CO-COMBUSTION (CARBON-BIOMASA) EN UNA CENTRAL TERMOELECTRICA ARGENTINA

Claudio Panero¹, Silvina Manrique² y Judith Franco³

¹AES Generación Argentina. Román Subiza s/n, San Nicolás. Tel: 0336-508158 - E-mail: claudio.panero@aes.com

²⁻³Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET),
Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina. Tel.: 0387-4255533 – E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

Recibido 14/08/13; aceptado: 24/09/13

RESUMEN.- La co-combustión, CC (quema conjunta de biomasa y carbón mineral en centrales de generación eléctrica) podría contribuir a la reducción simultánea de dependencia de combustibles fósiles y emisión de gases efecto invernadero (GEI). En Argentina existe sólo una central que funciona en base a carbón, Central Térmica de San Nicolás (CTSN), que fue la seleccionada para estudiar el comportamiento de biomasa lignocelulósica (residuos forestales) en CC. Se ensayaron diferentes concentraciones de biomasa en carbón (5 a 40%). Los materiales pelletizados (de *Pinus*) son más aptos para CC considerando características físico-químicas y respuesta de molinos. La CTSN mantuvo sus parámetros operativos normales durante la CC y aún mostró reducciones en los porcentajes de emisión de GEI. Los chips de *Eucalyptus* con secado previo y reducción de tamaño, podrían resultar una opción futura incorporando modificaciones en la CTSN. Se muestran los primeros resultados nacionales que servirán de base para futuras investigaciones.

Palabras claves: bioenergía, biomasa, carbón mineral, Central Térmica San Nicolás, Co-combustión

CO-COMBUSTION PROCESS (COAL-BIOMASS) IN A POWER PLANT IN ARGENTINA.

ABSTRACT.- The co-combustion, CC (joint burning of biomass and mineral coal in power generation plants) could contribute to the reduction on fossil fuels dependence and the emission of gases with greenhouse effect (GHG). In Argentina there is only a Plant which operates with coal. This is the “Central Térmica San Nicolás” (CTSN), which was the one selected to study the behavior of lignocellulosic biomass (forest residues) in CC. Different concentrations of biomass in coal (5-40%) were tested. The pelletized materials (from *Pinus*) are more suitable for CC considering physicochemical characteristics and mills response. The CTSN maintained their normal operating parameters during the CC and even showed reductions in the emission percentages of GHG. Eucalyptus chips with pre-drying and size reduction could be a future option incorporating changes in the CTSN. The knowledge gained will serve as a base for future research and are the first national results.

Keywords: bioenergy, biomass, mineral coal, San Nicolás thermal power station, co-combustion

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El contexto energético mundial.

Actualmente existe un importante desafío en lo referente al abastecimiento de las necesidades energéticas de la sociedad moderna, que son cubiertas -a nivel mundial- en más de un 80% por combustibles de origen fósil, principalmente petróleo, carbón y gas (Demirbas, 2005). El alto consumo de estos combustibles de naturaleza no renovable, trae aparejado principalmente dos problemas: el agotamiento de los mismos y un importante impacto en la atmósfera como consecuencia de su empleo intensivo (Sardón et al., 2003). La demanda de energía mundial, por otra parte, va en aumento. Se estima que esta demanda crecerá un 50% en el periodo 2007-2035 (IEA, 2010). Una de las posibles alternativas para hacer frente al desafío energético y ambiental, es el empleo de energías renovables como la biomasa (Canalis, 1998).

En el contexto energético, el término *biomasa* se emplea para denominar a un conjunto de materiales de origen orgánico formados por vía biológica en un pasado inmediato, o de los productos derivados de éstos (residuos forestales, pecuarios, agrícolas, agroindustriales, sólidos urbanos, lodos de depuración, líquidos cloacales, entre otros) (Carrillo, 2004). A partir de los diferentes tipos de recursos de biomasa se pueden obtener una gran diversidad de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos adaptables a todos los campos de utilización actual de los combustibles tradicionales, cubriendo necesidades energéticas de confort, transporte, cocina, industria y electricidad, o como insumo o materia prima para la industria (Fernández, 2010).

La co-combustión es decir, la quema conjunta de biomasa y carbón en estaciones de generación eléctrica, mejora la ventaja de las grandes plantas en base sólo a carbón (>100

MWe) que no son aptas para combustión sólo de biomasa debido a la limitada disponibilidad y la dispersión de este recurso (Puigdevall y Galindo, 2007). La co-combustión es una de las formas más efectivas para reducir las emisiones de CO₂ porque significa la sustitución parcial de carbón el cual es el mayor emisor del gas mencionado por kWh de electricidad producida (Zuwala, 2010; Leon, 2010). Mundialmente cada porcentaje de carbón que es sustituido con biomasa en las plantas de energía que funcionan en base a este combustible, resulta en una capacidad de energía de 8 GWe y una reducción de aproximadamente 60 Mt de CO₂. Con un típico valor de sustitución del 5% se lograría un potencial mundial de 40 GWe y una reducción de aproximadamente 300 Mt CO₂/año (Termal net, 2008) y (Ionel et al., 2008)

En Europa el Plan de Energías Renovables (PER) ha apostado fuertemente al empleo de biomasa como alternativa de generación de energía eléctrica, de forma que en el periodo 2005-2010 la potencia instalada en centrales térmicas a través de co-combustión se proyectó en el 42% del objetivo de MWe previstos para la biomasa (Energúa, 2006). A nivel mundial hay centenares de centrales en las que se han llevado a cabo pruebas de co-combustión, con diversos tipos de biomasa energética. Uno de los desafíos que se presenta en estos ensayos es el hecho de poder emplear diversos tipos de combustible de biomasa sin influir en la eficacia de la caldera ni generar problemas como corrosión, formación de cenizas, etc. (Faen, 2010).

2. La bioenergía y co-combustión en el contexto nacional.

En cuanto al proceso de co-combustión, a pesar de sus ventajas para el empleo de biomasa, no existen centrales en el país que lo estén empleando. Sólo existe una Central Termoeléctrica a nivel nacional en donde podrían realizarse ensayos de co-combustión, que es la Central de San Nicolás (CTSN), ubicada en la ciudad del mismo nombre en la provincia de Buenos Aires, que cubre parte de su demanda de combustible primario con carbón mineral y tiene una potencia total instalada de 650 MW (Ageera, 2009). Resulta interesante conocer en qué medida el empleo de biomasa en la sustitución parcial del carbón podría impactar en la atmósfera nacional y en la reducción de la dependencia del carbón importado (mayormente africano).

Para valorar el potencial de la biomasa en sus distintas formas la Secretaría de Energía y la Secretaría de Medio Ambiente de la Nación junto al INTA y FAO, han llevado adelante estudios empleando un marco de Sistemas de Información Geográfica en un programa llamado WISDOM (Mapeo de oferta y demanda integrada de dendrocombustibles). Los resultados obtenidos señalaron la importancia que tiene la Dendroenergía (en formas de carbón vegetal, leña y residuos agroindustriales) en el sector residencial, comercial e industrial de Argentina. Además se demostró que la contribución de la biomasa es mucho más significativa de lo que evidencian las estadísticas energéticas, agropecuarias y forestales actualmente en uso. La oferta total de biomasa accesible y potencialmente disponible contabilizada por el sistema WISDOM ascendió a 148.360.000 t, en tanto que la llamada biomasa comercial (formaciones vegetales y otras fuentes potenciales de oferta que garantizan una adecuada producción sustentable de biomasa energética, tal que se justifiquen los costos de transporte y gestión de la misma) accesible y potencialmente disponible alcanzó las 124.020.200 t. Se han estimado cerca de $2,7 \times 10^6$ t de biomasa leñosa proveniente de los subproductos de aserraderos y de plantaciones frutales y 2,3

$\times 10^6$ t de otros subproductos derivados de las agroindustrias (Secretaría de Energía, INTA y FAO, 2009; FAIMA, 2007; Malaston, 2008; Rivero, 2009).

La hipótesis de partida del presente trabajo es que el empleo de biomasa forestal residual mezclada en forma directa con el carbón mineral, puede ser utilizado para alimentar plantas térmicas convencionales de generación eléctrica, con importantes beneficios ambientales y económicos. El propósito de la presente investigación es, por tanto, aportar información científicamente elaborada sobre la utilización de biomasa como fuente de energía renovable, en procesos de co-combustión (en la CTSN), que permitan reducir el empleo de combustibles fósiles y diversificar los suministros de energía en centrales térmicas. El fin último que se persigue es aportar alternativas que permitan la diversificación de las matrices energéticas provinciales y nacionales, que podrían emplear paulatinamente la biomasa como fuente de energía renovable.

2.- MATERIALES Y METODOS

2.1. Selección del lugar de estudio y muestreo de carbón mineral.

El lugar seleccionado para extraer las muestras fue el sector de descarga de buques en el predio de la CTSN debido a que era el lugar donde podía obtenerse el material más representativo, tal como muestra la figura 1. Los equipos de descarga (aviones o trippers) fueron los puntos de extracción de muestras, las cuales se obtuvieron siguiendo las recomendaciones de normas internacionales (ASTM D 7256, 2006). Las muestras fueron almacenadas en bolsas de plástico y cerradas para evitar el ingreso de humedad. El número teórico de muestras a extraer se calculó con la ecuación 1, donde: N es el número de muestras a recolectar; L es la cantidad en toneladas del lote general (carga del buque: 48.617 t); K es una constante que para el carbón limpio es 15.

$$N = K \times \sqrt{\frac{L}{1000}} \quad (1)$$



Fig. 1: Vista general de la playa de descarga de carbón. En la imagen se detallan: 1) Cinta móvil llamada avión, encargada de descargar el carbón en la playa; 2) Cinta fija encargada del transporte del carbón desde la tolva a los aviones y 3) Tolva, donde las grúas depositan el material, el cual es descargado en la cinta fija.

La cantidad de muestras recolectadas fueron de 140 de aproximadamente 1kg cada una (superando el teórico calculado de 104,58 muestras). Dichas muestras fueron sometidas a un proceso de cuarteo y reducción y transformadas en tres bolsas (una de 20 kg y dos de 2 kg). De éstas últimas una fue trasladada al laboratorio para su

análisis, la de 20 kg fue inicialmente empleada para la determinación de la densidad aparente y luego guardada como muestra testigo del embarque.

2.2. Selección del lugar de estudio y muestreo de biomasa.

La figura 2 muestra los dos complejos foresto-industriales: que se seleccionaron, uno en la Provincia de Entre Ríos (en Concordia y Colonia Roca, de donde se extrajeron las muestras de *Eucalyptus grandis*) y otro en la provincia de Corrientes (en Esquina, de donde se obtuvieron las muestras de *Pinus elliottii*). Las principales razones que fundamentan esta elección fueron:

- Distancias más convenientes entre los complejos y la CTSN.
- Cantidad de residuos generados

- Disponibilidad de las empresas para que se realizaran estudios de: procesos, trazabilidad de los recursos que se manufacturan, volúmenes de residuos y posibilidad de extraer muestras.
- Cercanías de los complejos seleccionados a rutas o puertos, los cuales permitirían sacar la producción de residuos forestales

Para la extracción de las muestras se siguió la norma CENT/TS 14778-1, 2005. Se extrajeron muestras de sectores con material en movimiento y de acopios en forma de pilas. El número y tipo de muestra extraída puede verse en la Tabla 1.



(a) Fig. 2. Sitios de muestreo de biomasa: a) Planta en Entre Ríos y b) Planta en Corrientes.

Tabla 1. Número total de muestras extraídas para cada especie forestal y para cada formato de biomasa.

Especie	Formato				Total
	Chips	Aserrín	Pellets	Corteza	
<i>Eucalyptus grandis</i>	13	2	-----	-----	15
<i>Pinus elliottii</i>	7	2	3	4	16
Total	20	4	3	4	31

2.3. Procesamiento y análisis de las muestras.

En el caso del carbón se consideraron las siguientes normas para su procesamiento:

- ASTM D2013-00: Preparación de las muestras para su análisis.
- ASTM D3173-00: Determinación de contenido de humedad.
- ASTM D0409-02: Método de grindabilidad.
- CEN/TS 15103: Método de determinación de densidad aparente
- ASTM 5142 -09: Análisis próximo del carbón.
- ASTM D 5865-04: Determinación poder calorífico.
- ASTM D 3174-02: Determinación contenido de cenizas.
- ASTM D3176-02: Análisis último del carbón.
- ASTM D3172-02: Análisis inmediato del carbón.
- ASTM D 5373-02: Determinación del contenido de H, C y N.

- ASTM D 3302 - Humedad total.
- UNI EN 14775, 2010: Determinación del contenido de cenizas
- UNI EN 14918, 2005: Determinación del poder calorífico.

2.4. Ensayo de co-combustión en la Planta de San Nicolás.

Se decidió realizar la prueba en la unidad N° 2 de 75 MW de potencia, ya que los equipos son menos vulnerables a estos nuevos materiales por tener una construcción robusta. Por tanto, si apareciera la necesidad de sacar de servicio a este sector de la planta por inconvenientes durante el ensayo, esto no impactaría fuertemente en el sistema eléctrico. Los molinos de la unidad 2 son de martillos, y se consideró que las tareas de molido tendrían mejores resultados en este tipo de equipos ya que la ruptura se realiza por impactos de sus piezas contra el carbón o el nuevo material agregado y luego el material reducido es transportado por un circuito neumático hacia los quemadores. Se eligió uno de los cuatro molinos para recibir y procesar la nueva mezcla de combustible, mientras los otros funcionaban con carbón solamente, lo que daría la posibilidad de comparar parámetros de funcionamiento entre los diferentes molinos tales como las corrientes de los motores, temperaturas, etc.

Para la biomasa se consideraron las siguientes normas:

- CEN/TS 14780, 2005: Método de preparación de las muestras para los análisis.
- UNI EN 14774-1, 2009: Determinación del contenido de humedad. Criterios de diseño de los molinos y de quemadores (Agua y Energía, 1956) y los elementos disponibles en el laboratorio.
- ASTM D 3176 - Preparación de la muestras.

Luego de los procesamientos realizados a los diferentes tipos de materiales (chips, corteza, aserrín y pellets) se optó por realizar los ensayos de co-combustión con **pellets** de *Pinus*. Las mezclas de biomasa-carbón se realizaron en la

playa de almacenaje de carbón, considerando que una palada de carbón pesaba 4500 kg, y el peso de cada bolsón de biomasa rondaba los 600 kg. En función de las proporciones a alcanzar en cada mezcla, se controló el peso de carbón en un sector de la playa, y el peso de biomasa, en otro sector de la playa. Posteriormente, se entremezclaron

los materiales mediante el empleo de palas mecánicas Caterpillar y grúa, hasta lograr un aspecto uniforme. En la Tabla 2 se resumen las proporciones de biomasa en carbón trabajadas y su nomenclatura.

Tabla 2. Detalle de dosificaciones trabajadas de biomasa en carbón.

Nombre de la mezcla	Peso Carbón (kg)	Peso Biomasa (kg)	Porcentaje de biomasa en la mezcla
1	18000	1230,80	6,84
2	18000	1846,20	10,26
3	18000	2461,50	13,68
4	18000	3692,30	20,51
5	18000	6153,80	34,19
6	18000	8615,40	47,86

Durante el ensayo de co-combustión se fueron cargando en la tolva móvil de la playa las distintas proporciones de la mezcla. Estas cargas siguieron el camino a través de la cinta de playa, la cinta del avión, cayeron en la tolva de cemento, la cinta inclinada corta y luego pasaron por la trituradora. Posteriormente se elevaron hasta 50 m de altura a través de la cinta inclinada larga y cayeron en la tolva ubicada en el séptimo piso. Desde este punto se dio el abastecimiento al molino de martillo N°3 donde el material fue reducido a un tamaño muy pequeño, dentro de éste. Corrientes de aire a unos 70°C transportaron la mezcla hasta los quemadores los cuales suministraron el combustible al hogar de la caldera. Es de aclarar que dada la versatilidad del sistema fue posible cargar con una línea de cintas la tolva en el séptimo piso con la mezcla de carbón-biomasa que alimentó al molino 3 del bloque 2 y con la otra línea se cargó carbón en las otras tolvas. El recorrido mencionado del combustible se puede visualizar en la figura 3 donde pueden verse los siguientes detalles: 1) zona de playa de almacenamiento donde se preparó la mezcla carbón-biomasa; 2) grúa de carga de la mezcla; 3) cinta de carga fija; 4) cinta móvil, llamada avión; 5) tolva de hormigón con vibradores; 6) cinta inclinada corta; 7) trituradoras a rodillo; 8) cinta inclinada larga; 9) tolvas en séptimo piso a 50 m de altura de almacenaje transitorio de la mezcla; 10) caída de carbón a molinos 1-2 y caída de carbón-biomasa a molino 3.

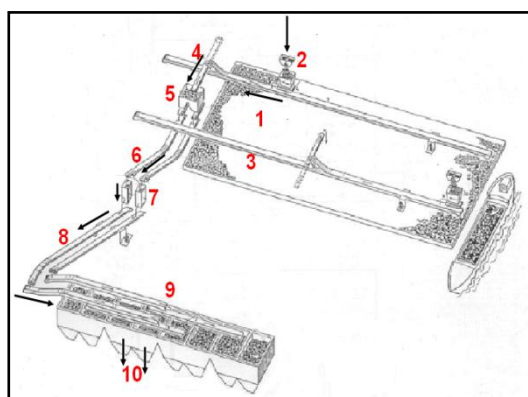


Fig.3: Circuito de alimentación de la mezcla carbón-biomasa (Diseño de la planta, 1958).

El molino 3 fue sometido a las diferentes proporciones mencionadas en diferentes días. Cuando en las cintas no se veía más la mezcla, se asumía que se había terminado una carga, y se controlaba la carga en las tolvas del séptimo piso. El tiempo involucrado en el ensayo durante cada

dosificación fue de 19 horas. El total de mezcla suministrada fue de aproximadamente 150.000 kg, de los cuales 108.000 kg fueron carbón y 24.000 kg biomasa. Durante los ensayos fue necesario coordinar la disponibilidad en el sitio de personal operativo, laboratorios externos y técnicos del laboratorio de la propia planta, ya que se realizaron asimismo controles y mediciones. Se realizaron mediciones de: temperatura, registros de presiones, caudales y corriente de molinos. Las mediciones de temperatura se realizaron en tres sectores principalmente: i) la zona del hogar, ii) en el molino 3; y iii) en el cono de fusión. Se extrajeron muestras de moliendas para análisis de granulometría, en todos los casos de la esquina N°3 de la respectiva caldera y extracción de muestras de cenizas de las tolvas correspondientes al electro filtro N°1, posición lado río. Las muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis. Otros controles realizados fueron mediciones y análisis de gases de combustión y de emisiones

3. RESULTADOS

3.1. Análisis comparativo de carbón y biomasa.

En un análisis comparativo, la Tabla 3 muestra fortalezas y debilidades de la biomasa frente al carbón.

Considerando la densidad aparente, los chips presentan valores sensiblemente inferiores a los del carbón, por lo cual si en el futuro se decidiera el empleo de este material se deberá prever el suficiente lugar de almacenamiento. En general, los contenidos de volátiles en la biomasa son mayores a los del carbón y pueden ser causantes de explosiones, mientras que el contenido de cenizas y de azufre en la biomasa son menores a los del carbón lo cual supone beneficios ambientales.

Los resultados de los análisis de laboratorio permiten conocer que los pellets tienen ciertas ventajas con respecto a otros formatos de biomasa. En efecto, ya se ha mencionado en el apartado de materiales y métodos que los **pellets** de *Pinus* fueron los seleccionados para realizar los ensayos de co-combustión. Los motivos de esta elección fueron principalmente su estructura sencilla de molienda y su disponibilidad en el mercado, sumado al hecho de que permitirían observar el comportamiento de las máquinas a partir de materiales homogéneos y las necesidades de adecuación para empleo de otros tipos de materiales más heterogéneos (chips, corteza, etc.). Por su parte, los procesamientos de chips, mostraron cierto grado de dificultad sobre todo en el molido dada la textura fibrosa del material. Además, el tamaño de los chips (40x 40 mm)

debería reducirse por medio de tareas mecánicas, previo a la mezcla con el carbón, para poder ser utilizados en la planta, lo cual por el momento no se realiza. En un principio no se priorizó la mejor conveniencia económica ya que el pellets son más caros que los chips o el aserrín, pero en esta etapa lo más importante fue comprobar el funcionamiento de la planta con los nuevos materiales y así poder determinar futuras necesidades de inversión y adaptación para el empleo de otros materiales.

3.2. Comportamiento de la CTSN con procesos de co-combustión.

La tabla 4 muestra la comparación detallada entre condiciones de combustión y de co-combustión muestra una disminución de los contenidos de concentración de material

particulado en los gases de escape y una disminución del CO₂ al aumentar los porcentajes de dosificación.

En los gases de combustión del hogar de la caldera se observa una disminución en los valores de NO_x y SO₂ al incrementarse los porcentajes de dosificación de biomasa en carbón tal como muestra la tabla 5.

En la figura 4 puede apreciarse que los valores de poder calorífico de las muestras extraídas decrecen a medida que los porcentajes de biomasa en el carbón aumentan, alcanzándose una meseta de estabilización alrededor del 20% de contenido de biomasa en carbón.

Tabla 3. Caracterización química y termoquímica

Parámetro determinado	Carbón	Pinus ellioti			Eucalyptus grandis	
		Pellets	Aserrín	Chips	Aserrín	Chips
Densidad aparente (Kg/m ³)	945	780	279	267	235	216
PCI _{0%} (cal/g)	5966	4720	4007	4014	4536	4293
H (BS) _{Total} (%)	7,94	7,89	118,48	67,74	39,83	31,18
Volátiles (%)	25,13	74,92	70,94	65,76	82,78	81,38
Cenizas (%)	16,71	0,29	1,43	2,36	0,45	1,62
Carbón fijo (%)	58,16	24,79	27,63	31,88	16,78	16,7
S (%)	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabla 4. Control de componentes gases de emisión con ORSAT y TESTO 350.

Condición de la planta	% mezcla de combustible		O ₂ (%)	CO ₂ (%)	Concentración de partículas (mg/Nm ³)
	Carbón	Biomasa			
Combustión	100	0	10,8	8,0	109,3
Co-combustión	93,98	6,02	14,1	6,2	106,5
Co-combustión	87,90	12,10	16,6	4,9	80,6

Tabla 5. Control de componentes gases de combustión con ORSAT y TESTO 350.

Condición de la planta	% mezcla de combustible		O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
	Carbón	Biomasa					
Combustión	100	0	12,4	14,6	5	548	49
Co-combustión	93,98	6,02	11,2	9,2	5	352	44
Co-combustión	87,90	12,10	8,0	11,9	0	337	40

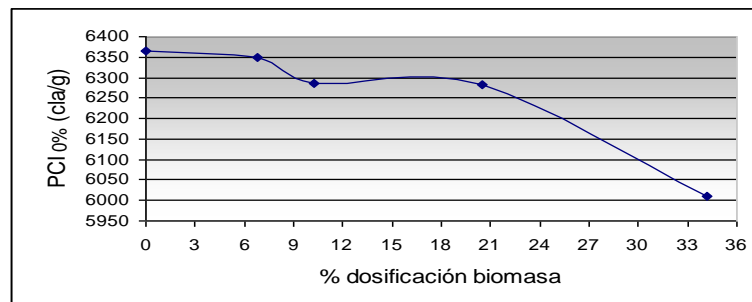


Fig. 4: PCI_{0%} con la dosificación de biomasa. El punto cero corresponde al valor medio histórico del carbón.

4. DISCUSION

4.1. Posibilidades de empleo de biomasa leñosa residual en la CTSN.

Los residuos de biomasa existentes en los sitios estudiados de ambas provincias, se encuentran en formatos similares: despuntes, costaneros, aserrín, ramas menores y cortezas. La factibilidad de realizar pre-tratamientos a los residuos forestales estudiados es idéntica en ambas zonas, si bien, a

mayor número de pre-tratamientos, mayor es el costo final de dichos residuos. Los residuos forestales requieren de una mecanización complicada. La limpieza, astillado y compactación incrementan el precio del residuo (IDAE, 2006). En algunos casos, sólo la reducción de tamaño ha posibilitado el empleo exitoso del material: la reducción de chips a medidas inferiores a los 11 mm han posibilitado hasta un 3% de sustitución energética en procesos de co-combustión directa carbón-biomasa (Iberdrola, 2011).

Diversas experiencias han sido llevadas adelante en Europa con la intención de adecuar las características de la biomasa cruda a los requerimientos del molido conjunto del carbón-biomasa, empleando reducción de medidas y procesos de secado (FAE, 2010).

El pellet tiene características físicas y contenidos de humedad que lo hacen muy apto para procesos de co-combustión, si bien tiene un alto costo. Otras alternativas más económicas podrían ser los chips de *Eucalyptus* y de *Pinus* con etapas previas de reducción de su tamaño hasta pequeñas astillas y un secado hasta bajar los contenidos de humedad a porcentajes menores a los recomendados por Rivero (2009). Si bien los primeros ensayos en la Central Térmica de San Nicolás fueron realizados con pellets por las aptitudes encontradas, será necesario evaluar la posibilidad de mezclar este formato de biomasa con otro con menor

valor agregado y observar la respuesta y el rendimiento de la planta.

4.2. Estimaciones para una dosificación continúa en la planta estudiada.

Considerando como condiciones iniciales una potencia entregada de 50 MW/h, con un consumo de 21.000Kg/h de carbón, la cantidad de carbón a reemplazar es un 12,10% y los materiales seleccionados para dicho reemplazo son pellets de *Pinus* y chips de *Eucalyptus* tal como puede observarse en la Tabla 6. Para un poder calorífico (PC) de carbón (El valor del PC adoptado para el carbón se extrajo de registros históricos de la planta bajo estudio.): 5809_{10,95%} kcal/kg; PC pellets *Pinus*: 4567_{9%} (kcal/kg), PC chip *Eucalyptus*: 3170_{26,38%} kcal/kg (IDAE, 2007; Acosta, 2005; Suirezs et al., 1993).

Tabla 6. Valores de reemplazo del carbón por pellets y chips en la Unidad N°2.

% Reemplazo carbón	Carbón a reemplazar (Kg/h)	Kcal/h a reemplazar	Cantidad de pellets (Kg/h)	Cantidad de chips (Kg/h)
12,10	2541	14.770.669	3234,40	4660,90

La cantidad de biomasa necesaria sería:

- Consumo día para un 12,10%: 77,6 t /día de pellets y 111,8 t/día de chip-aserrín.
- Carga /día: 124 bolsones de 600 Kg. de pellets o 4,5 camiones de chips
- Carga/ año: 45260 bolsones o 1642 camiones chips.
- Carga/año para las Unidades 1 y 2: 90520 bolsones de pellets o 3285 camiones de chips.

Las cantidades necesarias de pellets no podrían ser abastecidas por el momento por la planta productora de Corrientes. Las cantidades de chips de *Eucalyptus* reducido que se necesitarían podrían ser cubiertas por las plantas investigadas en Concordia (Entre Ríos) con condiciones especiales de producción tales como: extensiones horarias, afectar más de una de sus líneas de producción y asegurar la disponibilidad de residuos forestales. Por tanto, es importante considerar la mezcla de diferentes formatos de biomasa o, en el caso que en el futuro los costos de los pellets disminuyan o resulte más rentable, profundizar en la opción del pelletizado de los residuos forestales en origen.

4.3. Características de los molinos para molido.

Uno de los parámetros que se considera crítico para el empleo de otras formas físicas de la biomasa es su tamaño, dado las características de funcionamiento de los molinos. La experiencia desarrollada aportó conocimiento que servirá de guía para futuras investigaciones. En el caso de empleo de chips será necesario profundizar y experimentar si los molinos producen su ruptura a un grado tal que el material resultante pueda ser transportado por el circuito de aire interno del molino. Mediante la instalación en la planta de San Nicolás de nuevos molinos o trituradoras se podría lograr la reducción del chip a menores tamaños transformándolos en astillas. De otra forma, podría evaluarse asimismo la factibilidad de realizar dicha molienda en origen, considerando el mayor valor agregado que esto podría representar. En Europa se ha trabajado en la reducción del tamaño de la biomasa para adaptarla a las necesidades de la planta empleando trituradoras móviles que se pueden ubicar en la planta o en el punto de abastecimiento y luego ingresar el material resultante al

circuito de alimentación de combustible junto con el carbón. Asimismo, se comprobó que los molinos no eran capaces de triturar la biomasa, ya que ésta contiene fibras y se requerían molinos especiales. Se realizaron pruebas con uno pequeño y los resultados fueron satisfactorios. Con molienda previa a tamaño menor a 11 mm se ha conseguido llegar al 3% de sustitución (Iberdrola, 2011; Diez, 2008).

4.4. Proyecto de un nuevo sistema de abastecimiento.

En base a las experiencias realizadas en Europa (Malaston, 2008; Mansour, 2010; Nobusuke, 2007; Magasiner, 1987; Strehler, 1999) y los conocimientos adquiridos durante los ensayos, se concluye que resultaría fundamental contar con un nuevo sistema de abastecimiento para la planta que posibilite lograr una dosificación en forma permanente y automática de la unidad bajo ensayo, como así, lograr automáticamente la mezcla en la proporción planificada. Otros países extranjeros han atravesado por situaciones similares y han buscado distintas soluciones a las mismas con la intención de lograr el mejor aprovechamiento de los recursos en sus regiones. Se analizaron los lugares en la CTSN donde se podrían llevar adelante modificaciones que permitieran el agregado de la biomasa en el circuito de abastecimiento. El sector que se detectó con mayores aptitudes es uno que se encuentra muy próximo al sistema normal de transporte de carbón. En la figura 5 se muestra una imagen del sistema mencionado.

Las tareas necesarias a realizar serán:

- Reconstruir y adaptar una cinta de abastecimiento que va desde un sector del área de combustible hasta la tolva de hormigón donde cae el material proveniente de las cintas de carbón. Para lograr la dosificación en distintos porcentajes se debería dotar a la cinta mencionada de un sistema que permita variar su velocidad.
- La cinta a habilitar posee en su sector de abastecimiento su propia tolva metálica, la cual debería ser modificada y dotada de vibradores para evitar el atoramiento de la biomasa.
- Se modificaría el posible sector de almacenamiento, dotándolo de un cerramiento para resguardar a la biomasa de los agentes atmosféricos, el cual consistiría en un techado con disponibilidad de ingreso para los camiones que traerían la carga y topadoras para movimientos internos. El área

necesaria de almacenamiento debe tener las suficientes dimensiones para poder alojar un stock mínimo y permitir la dosificación continua. Esto es requisito indispensable debido a la baja densidad de pilas de la biomasa comparada con el carbón en el caso de emplear chips. Para el caso de los pellets la necesidad de espacio es menor. Se ha estimado inicialmente un área techada de unos 40 m x 40 m.

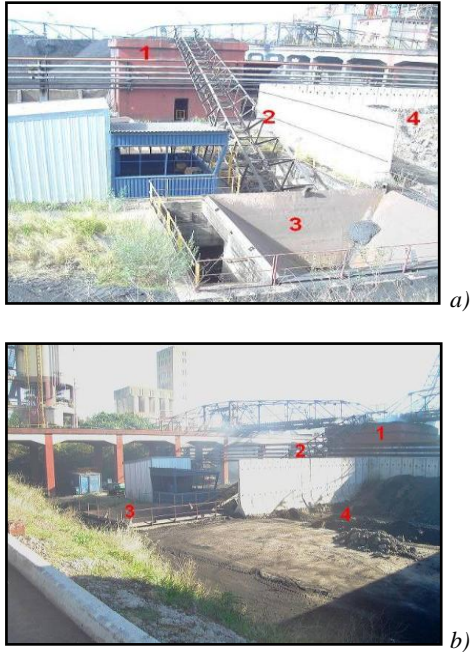


Fig. 5: Nuevas instalaciones para dosificación automática y permanente. (a) cinta a modificar y (b) futura área de almacenamiento y abastecimiento de biomasa. En ambas figuras se detallan: 1-Tolva existente de hormigón donde llega el suministro de carbón, en su interior se alojan los vibradores, esta tiene dos bocas inferiores por las cuales cae el carbón a las cintas de transporte, 2-Cinta a modificar y habilitar, 3- Tolva de abastecimiento de biomasa, donde se descargarán los camiones, 4- Futura área de almacenamiento y movimiento de biomasa.

-Para la descarga de la biomasa existirán distintas posibilidades: i) que los camiones puedan volcar sobre la tolva metálica, ii) que la biomasa quede temporalmente almacenada en la protección detallada anteriormente, y luego deberá ser cargada de acuerdo a la necesidad de abastecimiento. Para esto se deberá instalar un sistema de carga de los bolsones de pellets que podría ser una grúa giratoria o pequeñas cintas portátiles si el material es chips.

-En el caso de emplearse biomasa en formato de chips, debería instalarse en el sector detallado anteriormente una trituradora para disminuir su tamaño.

5. CONCLUSIONES

El escenario nacional se encuentra cada vez más comprometido en el abastecimiento de sus necesidades energéticas. Su matriz es mayoritariamente dependiente de recursos no renovables e importados, lo cual crea una alta dependencia de variables externas y ocasiona la fuga permanente de divisas al exterior. Asimismo, esta alta

dependencia de fuentes fósiles de combustible impacta en la atmósfera nacional y mundial con las emisiones de gases efecto invernadero. El aprovechar recursos de biomasa existentes en nuestro territorio, entre ellos los residuos forestales que son abundantes (en especial en las zonas investigadas del litoral) permitirá diversificar la matriz energética nacional.

En este trabajo se concluye que el formato de biomasa más conveniente para ser empleado en el proceso de co-combustión es el pellet, dadas sus propiedades de fácil molido y sus virtudes físico-químicas (en especial, el bajo contenido de humedad y una densidad energética superior a la de los otros materiales). La planta estudiada en Corrientes podría abastecer parcialmente un proceso de co-combustión en la CTSN con pellets, debido a su volumen de producción actual. La mayor debilidad de utilizar pellets son los costos que tienen por el momento en el país, los cuales comparados con los chips son varias veces superiores. De continuar utilizando pellets, el sistema de transporte actual deberá ser revisado, ya que encarece mucho el valor del material. Por otro lado, los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio muestran que los chips, reducidos en su tamaño y con previos secados podrían ser otro tipo de material alternativo para emplear en un proceso de co-combustión. La capacidad de producción de las plantas investigadas en Entre Ríos, serían suficientes para abastecer a la CTSN en la co-combustión carbón-biomasa en dos de sus unidades, a los valores de dosificación experimentados.

Comparando las propiedades de carbón y biomasa se observa que esta última muestra un bajo contenido de cenizas, bajo porcentaje de azufre, buen contenido de carbón fijo. Entre sus debilidades se destaca un contenido de humedad alto si no tiene un tiempo de estacionamiento y secado (lo cual disminuye su capacidad calorífica final) y porcentajes elevados de volátiles, por lo cual debe tenerse especial cuidado con los equipos para evitar auto igniciones o explosiones. Las pruebas de co-combustión mostraron un buen comportamiento de las instalaciones de la planta de San Nicolás ante los nuevos combustibles y posibilitaron desarrollar nuevos conocimientos y experiencias para la aplicación futuras de otros tipos de biomasa. El porcentaje de dosificación logrado fue similar a los estudiados en experiencia europeas con valores superiores a un 10 %, en este tipo de mezcla directa (antes del molido). El molino fue sometido incluso a porcentajes mayores, respondiendo adecuadamente. Todos los parámetros controlados se mantuvieron dentro las condiciones operativas normales de la planta y en el porcentaje de gases de emisión se registró una reducción en sus valores.

El lograr una dosificación continua de biomasa implicará llevar adelante la construcción de nuevas instalaciones que permitan su suministro y control. Cualquier esfuerzo invertido en la mejora de la planta, permitirá la sustitución parcial de carbón implicando divisas volcadas al mercado interno y no a externos. Además, a esto se sumará la disminución de gases que producen el denominado efecto invernadero y la lluvia ácida, con los consiguientes beneficios ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Guillermo Paponi, gerente de AES Generación -San Nicolás, por su generosidad y apoyo. A los compañeros de la planta de AES San Nicolás y del departamento de

Negocios Especiales que me brindaron su colaboración y asesoramiento. A los departamentos de Ingeniería Mecánica de la FIUBA y de Post Grado de la UTN FRBA por el asesoramiento brindado. A los Señores Octavio Ríos y Fabián Trocello pertenecientes a la empresa ZENI (Corrientes) y al Señor Gustavo Ghisolfi representante de la empresa Forestal y Transporte (Entre Ríos), por su disponibilidad a permitirme realizar investigaciones y muestreos dentro de sus plantas.

REFERENCIAS

- Agua y Energía Eléctrica. (1952). Central termoeléctrica San Nicolás-Proyecto definitivo Siemens y AEG .Tomo primero. Secciones: I-II-III –IV. Buenos Aires, p.9-127.
- Canalis, P., Royo, J. y Tapia, R. (1998). La co-combustión: Una alternativa para la utilización de la biomasa residual. Fundación Circe, Universidad de Zaragoza, p.1-8.
- Carrillo, L. (2004). Energía de biomasa, p.5-17
- Demirbas, A., Balat, M. y Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development . *Energy Conversion and Management* 50, p.1746-1760.
- Demirbas, A. (2000). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemical. *Energy Conversion and Management* 42, p.1357-1378.
- Demirbas, A. (2003). Combustion and characteristics of different biomass fuels. *Progress Energy Combustion* 30:219-230.
- Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources. Biomass combustions problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion, Science Direct* 31, p.171-192.
- Diez, P. (2008). *Termodinámica Técnica*. Universidad de Cantabria. Capítulos III, p.29-39 .XI, p.181-188 y XVI, p.407-416.
- FAIMA (Federación Argentina de la Industria y de la Madera). (2007). Programa de desarrollo forestal. Factibilidad de proyectos para cogeneración de energía eléctrica a partir de biomasa forestal. Diagnóstico y relevamiento de información base, p.50-52.
- FAIMA (Federación Argentina de la Industria y de la Madera), (2007). Análisis de las opciones de aprovechamiento energético de la biomasa forestal y foresto-industrial en la Provincia de Buenos Aires, p.39-49
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2009). Análisis Del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina. WISDOM Argentina. Informe Final, p.1-120
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2008). Bosques y energías, cuestiones claves. Estudio Fao: Montes 154, p.1-86.
- Fernández, J. (2010). Energías renovables para todos. Biomasa. Fundación de le energía de la comunidad de Madrid, p.1-20.
- Iberdrola Generación. (2011). Co-combustión de biomasa en calderas de Carbón, p.1-14.
- IEA (International Energy Agency). (2010). Bioenergy Project Development & Biomass Supply, Good practice guidelines. p.1- 66.
- IEA (International Energy Agency). (2009). Key World Energy Statistics, p.1-82.
- IEO (International Energy Outlook). (2010), U.S Energy information administration, p.1-338. www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html
- Ionel, I., Popescu, F. y Russ, W. (2008). Co-combustion of fossil fuel with biofuel in small cogeneration systems, between necessity and achievements. University Polytechnic Timisoara-UPT, p.1-6.
- Malaston, D., Gonzalez, A. y Miño, A. (2008). Pellets de madera para uso Energético. INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial). Saber Cómo N°59 y N°60, p. 2-6.
- Mansour, F. y Zuwala, J. (2010). An evaluation of biomass co-firing in Europe. *Biomass & Bioenergy. Science Direct*, p.620-629.
- Nobusuke, K. y Piao, G.. (2007). A new pulverized biomass utilization technology, p.1-12.
- Magasiner, N. y Misplon, B. (1987). Characterising fuels for biomass-Coal fired Cogeneration. Thermal Energy System. Bio therm ltd. Magasiner technology, p.1-17.
- McKendry, P. (2001). Energy production from biomass (part2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, **83**, 1-8.
- Rivero, O. (2009). La biomasa y los biocombustibles, primera parte, p.15-19
- Sanchez Acosta, INTA. (2005). Situación foresto industrial de Argentina.III Simposio Ibero Americano de gestión y Sardón. J., García. F y Fernández. J. (2003). Energías Renovables para el desarrollo. Cooperación Internacional. Editorial: Thomson y Paraninfo, p.186-260.
- Strehler, A (1999). Technologies of wood combustions. *Ecological Engineering* **16**, .S25-S40.
- Secretaría de ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación. (2009). Serie estadísticas forestales 2001-2007.ISNN 1850-7174 (Versión digital), p.1-61.
- Secretaría de ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación. (2007). Regiones Forestales, ISSN 1850-7158 (Versión digital), p.1-50.
- Secretaría de energía. (2009). Balance Energético nacional serie 1960-2007, p.1-51. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/balancesenergeticos2007/Texto/BEN%202007.pdf>
- Suirezs, T., Pereyra, O. Y Magnago, S. (1993).Propiedades de la madera de Pinus elliottiis de 13,16 y 18 años de edad cultivados en la provincia de Misiones, p.1-5.