

AJUSTE DE VARIABLES DEL PROCESO DE BRIQUETEADO Y SU EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA DE LAS BRIQUETAS PARA BOF¹

Silvina Ramos²
Daniel Costoya²
Adolfo Gómez³
Eduardo Wolter³
Juan Buzzio⁴
Fernando Ceccarelli⁴

Resumen

Una buena resistencia de las briquetas aglomeradas en frío que permita el mínimo de generación de finos es una de las propiedades más deseada. El objetivo de este trabajo es encontrar posibles causas de degradación excesiva en las briquetas usadas en los convertidores de Ternium Siderar. Dicho estudio contempla un seguimiento de todo el proceso desde las materias primas, proceso de briqueteado, condiciones de curado y producto final. Se realizan ensayos de laboratorio tendientes a relacionar parámetros tales como humedad óptima de la premezcla, mezclado de las materias primas, cantidad de aglomerante y condiciones de briquetado, sobre la resistencia final lograda en los aglomerados. La incorporación de cemento común en la composición de la briqueta resultó una alternativa favorable contra la generación de finos.

Palabras clave: Briquetas para convertidor; Reutilización; Aglomerante; Resistencia.

ADJUSTING BRIQUETTING PROCESS VARIABLES AND THEIR EFFECT ON THE STRENGTH OF BOF BRIQUETTES

Abstract

Good strength to cold bonded briquettes which allows lowest fines generation is one of the most desired properties. The aim of this paper is to find possible causes of excessive degradation in the briquettes used in the converter in Ternium Siderar. This study includes monitoring the process from raw materials, briquetting process, curing conditions and final product. Laboratory tests were carried out to find relationship within parameters process, such as moisture of the premix, mixing of raw materials, the amount of binder and briquetting conditions, on the final strength achieved in the agglomerates. The addition of portland cement on the briquette composition was a good alternative to control of the fines generation.

Key words: Cold bonded briquettes; BOF; Reuse; Binder; Strength.

¹ Contribución técnica al 43° Seminario de Reducción de Mineral de Hierro y Materias Primas, 14° Simposio Brasileño de Mineral de Hierro y 1° Simposio Brasileño de Aglomeración de Mineral de Hierro, 1al 4 de setiembre de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Ingeniera y Técnico, Laboratorio de Materias primas y Reducción, Instituto Argentino de Siderurgia, San Nicolás, Argentina.

³ Tecnólogo de Proceso, Ternium Siderar, San Nicolás, Argentina.

⁴ Ingeniero de Proceso, Telemec SA, San Nicolás, Argentina.

1 INTRODUCCION

Las briquetas aglomeradas en frío conteniendo barro grueso de LD se emplean desde el año 2005 como parte de la carga de los convertidores LD de Ternium Siderar.

Se han observado eventos de excesiva degradación de las briquetas en su camino desde su elaboración hasta su carga definitiva en las tolvas que alimentan los convertidores LD, con la consecuente generación de finos que causan problemas de atascamiento en tolvas y en la operación normal de los convertidores.

Se inició un estudio en conjunto Ternium Siderar-IAS-Telemec que contempló varias etapas con el fin de detectar posibles causas de dicha degradación.

En sus comienzos las briquetas fueron diseñadas para ser cargadas por cesta desde la playa de chatarra ubicada en nave de acería y luego de un tiempo se comenzaron a cargar por tolva desde la playa de chatarra.

Si bien es aceptada una determinada cantidad de finos que se consideran no perjudiciales para el proceso, los finos menores a 6,3 mm son totalmente indeseables pasado un cierto valor admisible ya que son captados nuevamente por los sistemas de aspiración y pierde sentido el reciclado de subproductos mediante esta vía.

Las variables que se analizaron fueron:

- variables involucradas en el proceso de formación de la premezcla que se destina a la planta de briquetas;
- variables que involucradas en el proceso mismo de briqueteado;
- condiciones de curado;
- características físicas y mecánicas de las briquetas.

Pruebas a escala semi-industrial fueron realizadas modificando la formulación actual de la briqueta y analizando las propiedades de las briquetas obtenidas.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio que incluye las siguientes etapas:

2.1 Formación de la Premezcla Destinada a la Planta de Briquetas

- La humedad de las premezclas a briquetear no presentan un valor constante, sino que varía en función de la humedad que tenga el barro grueso de LD, de las condiciones climáticas, etc. Esto impacta en el contenido de melaza diluida adicionado en la planta de briquetas, ya que tampoco es constante y varía para cumplir con un valor de humedad objetivo de la briqueta;
- el mezclado de todos los componentes, menos la melaza que se agrega en última instancia en la planta de briquetas, se realiza con pala mecánica en el obrador. Este proceso de mezclado resulta en una mezcla no homogénea;
- se observaron pilas de viruta de diferentes tamaños y aspecto que son incorporadas a la premezcla, ambas con mucha suciedad adherida. Deberá controlarse que no corresponda a restos de aceite o afines ya que esto se convertiría en una barrera de adhesión para el ligante. Los finos de cal, empleados actualmente y desde hace varios meses presentan una distribución granulométrica muy heterogénea quedando granos groseros sin hidratar.

2.2 Proceso de Briqueteado

- La fuerza de compactación sobre las briquetas actuales, es aproximadamente 35 toneladas. Este parámetro, que depende a su vez de la granulometría de las premezclas, influye en la calidad de las briquetas obtenidas, ya que si es excesiva genera grietas en las briquetas;
- la zaranda de finos de retorno ubicada en la mitad del camino de las briquetas hacia la pila final somete a las briquetas verdes a una vibración importante que puede impactar sobre su integridad;
- la altura de la pila de curado de las briquetas no permite que las briquetas que se encuentran en la parte inferior y en el centro de la pila logren eliminar la humedad y por lo tanto curarse. Además forman un conglomerado debido al contenido de humedad que no pudo eliminarse y al efecto de compresión que les generan las briquetas que se encuentran por encima. Las briquetas elaboradas permanecen en una pila de curado durante 5-7 días bajo techo en la planta de briquetas y luego son llevadas a la playa de chatarra donde permanecen al aire hasta su destino final;
- la melaza es diluida con agua en la proporción 70/30 de tal forma de cumplir con los grados Brix objetivo. El diseño establece un porcentaje de 4-5%, sin embargo esta adición es regulada en función de la humedad de la premezcla;
- se caracterizan las briquetas actuales mediante ensayo de humedad, tambor y caída para establecer si la generación de finos menores a 6,3 mm en los ensayos mecánicos son aceptables o no. Para el ensayo de tambor la especificación establece 56% mínimo de finos mayores a 6,3 mm (44 % máximo de finos menores a 6,3 mm). Por otro lado en el ensayo de caída se establece un mínimo de 75% de finos mayores a 6,3 mm (25 % máximo de finos menores a 6,3 mm). En tanto la humedad de las briquetas de carga no deben superar el 2%.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización de Briquetas Empleadas Actualmente

Se tomaron muestras de briquetas actuales recién elaboradas para realizar ensayos de caracterización en el IAS. Posteriormente se tomaron briquetas de este mismo lote de producción apiladas al aire en playa de chatarra para ensayos.

3.1.1 Análisis químico

Los resultados se indican en Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico de las briquetas actuales

% Fe total	% Fe°	% FeO	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% S	% C	% P	% SiO ₂
58,80	26,70	33,60	8,56	9,04	0,037	2,77	0,10	2,80

3.1.2 Contenido de humedad

Los resultados se indican en Tabla 2 para las briquetas con diferentes días de curado en laboratorio y comparadas con el curado industrial.

Tabla 2. Resultados de las determinaciones de % humedad en briquetas actuales

% Humedad			
Briquetas verdes	Briquetas 5 días curado lab	Briquetas con 20 días de curado lab	Briquetas con 20 días curado industrial
4,1	2,8	0,8	1,5

3.1.3 Ensayo de tambor

Los resultados se indican en Tabla 3 para las briquetas con diferentes días de curado en laboratorio y comparadas con el curado industrial.

Tabla 3. Resultados del ensayo de tambor en briquetas actuales

Indice	Briquetas con 10 días curado lab	Briquetas con 20 días curado lab	Briquetas con 20 días de curado industrial
IT (% +6,3 mm)	14,3	19,5	14,2
IA (% -0,5 mm)	43,3	41,5	31,5

3.1.4 Ensayo de caída

Los resultados se indican en Tabla 4 para las briquetas con diferentes días de curado en laboratorio y comparadas con el curado industrial. Se seleccionan 10 briquetas enteras al azar y se arrojan desde una altura aproximada de 2 metros completando 3 caídas.

Tabla 4. Resultados del ensayo de caída en briquetas actuales

Indice	Briquetas con 5 días curado lab	Briquetas con 20 días curado lab	Briquetas con 20 días de curado industrial
%finos +6,3 mm	89,4	92,5	82,7

3.2 Pruebas a Escala Semi-Industrial con Nuevas Formulaciones

3.2.1 Prueba 1

Tres posibles mezclas para la elaboración de briquetas fueron establecidas, tabla 5, de tal forma de encontrar una briketa que mejore los resultados de resistencia respecto de las briquetas actuales. Se contempla la mezcla original formulada para las briquetas de acería con barro grueso de LD, cal y melaza y se evalúa la adición de laminilla y luego cemento sobre la calidad de las briquetas.

Se elimina de la formulación las virutas y el polvo de decapado.

Tabla 5. Composición de las mezclas.

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
90 % barro grueso 6 % cal 4 % melaza	75 % barro grueso 5 % cal 4 % melaza 16 % laminilla	71 % barro grueso 7 % cal 4,5 % melaza 15 % laminilla 2,5 % cemento

3.2.1.1 Análisis químico

Los resultados se indican en Tabla 6.

Tabla 6. Análisis químico de las briquetas de Prueba 1

	%Fe _{tot.}	%Fe°	%FeO	%Fe ₂ O ₃	% CaO	% SiO ₂	% S	%C	%P
Briq 1	59,5	34,9	24,0	8,51	16,4	2,98	0,015	1,84	0,12
Briq 2	55,6	28,6	31,1	4,00	19,8	3,34	0,021	2,26	0,14
Briq 3	58,3	31,2	27,8	7,88	16,3	2,66	0,019	1,48	0,12

3.2.1.2 Contenido de humedad

Los resultados se indican en Tabla 7 para las briquetas con diferentes días de curado.

Tabla 7. Resultados de las determinaciones de % humedad en briquetas de Prueba 1

	% Humedad		
	Briquetas recién elaboradas	Briquetas con 5 días de curado lab	Briquetas con 30 días de curado lab
Briquetas 1	6,6	3,5	1,2
Briquetas 2	5,2	2,2	1,2
Briquetas 3	4,3	1,6	1,4

3.2.1.3 Ensayo de tambor

Los resultados se indican en Tabla 8 para las briquetas con diferentes días de curado.

Tabla 8. Resultados del ensayo de tambor a los 20 y 30 días de curado en briquetas de Prueba 1

20 días de curado			
Indice	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3
IT (% +6,3 mm)	25,1	17,3	33,1
IA (% -0,5 mm)	56,7	54,5	43,3
30 días de curado			
IT (% +6,3 mm)	26,5	17,0	34,9
IA (% -0,5 mm)	55,9	54,7	42,3

3.2.1.4 Ensayo de caída

Los resultados se indican en Tabla 9 para las briquetas con diferentes días de curado.

Tabla 9. Resultados del ensayo de caída en briquetas de Prueba 1

Días de curado	%finos +6,3 mm		
	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3
10 días	92,9	92,0	96,9
30 días	68,7	88,3	97,9

3.2.2 Prueba 2

Considerando que la briqueta 3 de la prueba 1 mejora los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia de la briqueta actual, se define tomar esta formulación como referencia y elaborar cinco briquetas diferenciadas por cambios en el tipo de cal, presión de trabajo y cantidad de cemento adicionado, tabla 10.

Tabla 10. Composición de las mezclas.

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
71 % Barros gruesos LD 15 % Laminilla 6 % Cal hidratada comprada 6 % Melaza 2 % Cemento	71 % Barros gruesos LD 15 % Laminilla 3 % Cal hidratada comprada 6 % Melaza 5 % Cemento	71 % Barros gruesos LD 15 % Laminilla 3 % Cal hidratada comprada 6 % Melaza 5 % Cemento	71 % Barros gruesos LD 15 % Laminilla 3 % Cal hidratada comprada 6 % Melaza 5 % Cemento	71 % Barros gruesos LD 15 % Laminilla 3 % Finos de cal hidratados 6 % Melaza 5 % Cemento
Presión en la briqueta 35 ton	Presión en la briqueta 35 ton	Presión en la briqueta 29 ton	Presión en la briqueta 32 ton	Presión en la briqueta 35 ton

3.2.2.1 Análisis químico

Los resultados se indican en Tabla 11.

Tabla 11. Análisis químico de las briquetas en briquetas de Prueba 2

	% Fe total	% Fe°	% FeO	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% S	% C	% P	% SiO ₂
Briq 1	54,60	26,60	30,01	6,58	5,98	0,055	2,52	0,072	2,16
Briq 2	55,00	26,10	31,90	5,87	5,80	0,052	2,36	0,077	2,63
Briq 3	55,80	25,30	33,00	6,93	5,48	0,088	2,49	0,090	2,63
Briq 4	54,70	25,30	32,40	6,03	6,01	0,058	2,24	0,057	2,84
Briq 5	54,40	25,10	29,90	8,60	6,68	0,062	2,30	0,068	2,44

3.2.2.2 Contenido de humedad

Los resultados se indican en Tabla 12 para las briquetas con diferentes días de curado.

Tabla 12. Resultados de las determinaciones de % humedad en briquetas de Prueba 2

	% Humedad		
	Briquetas recién elaboradas	Briquetas con 7 días de curado lab	Briquetas con 30 días de curado lab
Briquetas 1	5,0	1,8	1,1
Briquetas 2	4,9	2,2	1,2
Briquetas 3	5,2	2,3	1,4
Briquetas 4	5,2	2,3	1,4
Briquetas 5	5,0	1,7	1,0

3.2.2.3 Ensayo de tambor

Los resultados se indican en Tabla 13 para las briquetas con diferentes días de curado.

Tabla 13. Resultados del ensayo de tambor a los 14 y 30 días de curado en briquetas de Prueba 2

14 días de curado					
Indice	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5
IT (% +6,3 mm)	42,3	52,5	58,1	55,1	48,9
IA (% -0,5 mm)	34,1	32,3	27,8	28,7	31,0
30 días de curado					
IT (% +6,3 mm)	46,8	57,3	57,1	60,0	57,0
IA (% -0,5 mm)	32,1	27,3	27,4	26,7	29,5

3.2.2.4 Ensayo de caída

Los resultados se indican en Tabla 14 para las briquetas con diferentes días de curado.

Tabla 14. Resultados del ensayo de caída en briquetas de Prueba 2

Días de curado	%finos +6,3 mm				
	Briqueta 1	Briqueta 2	Briqueta 3	Briqueta 4	Briqueta 5
14 días	98,3	97,7	95,5	98,4	96,8
30 días	98,6	97,5	98,1	98,5	98,2

4 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la caracterización de las briquetas empleadas actualmente revelan claramente problemas asociados a los puntos críticos encontrados en el proceso de briqueteado desde su inicio.

En los comienzos de la elaboración de las briquetas las propiedades pudieron haber sido aceptables, y los parámetros de presión, humedad, dilución de aglomerante, composición parecían controlados. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo y debido a modificaciones en las formulaciones de las briquetas con el objeto de aumentar la ley de hierro, fueron incorporados otros subproductos tales como laminillas, virutas, polvo de decapado.

Los resultados de los ensayos de calidad realizados en briquetas actuales muestran que el parámetro más crítico es la degradación en frío mediante ensayo de tambor (Figura 1)

En este ensayo que simula la degradación sufrida por manipuleo, transporte, cargas y descargas se obtiene el mayor porcentaje de finos menores a 6,3 mm.

A los 20 días de curado las briquetas alcanzan el valor objetivo de humedad, con valores incluso inferiores al especificado (Figura 2).

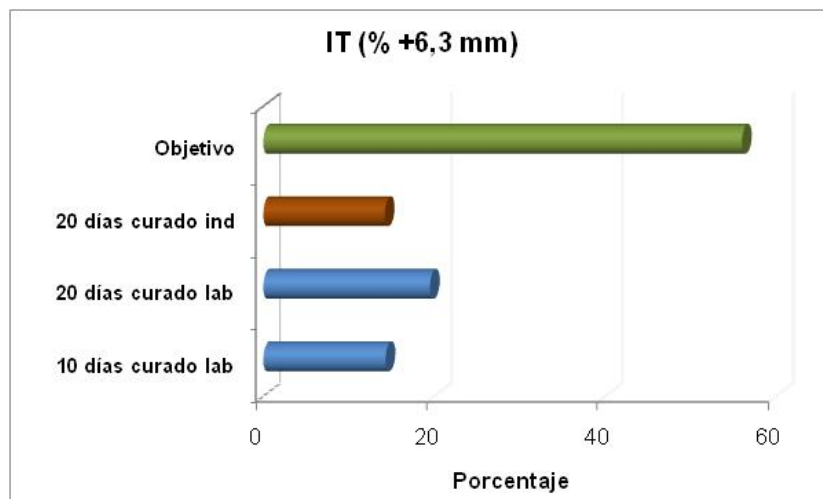


Figura 1. Resultados ensayo de tambor en briquetas actuales.

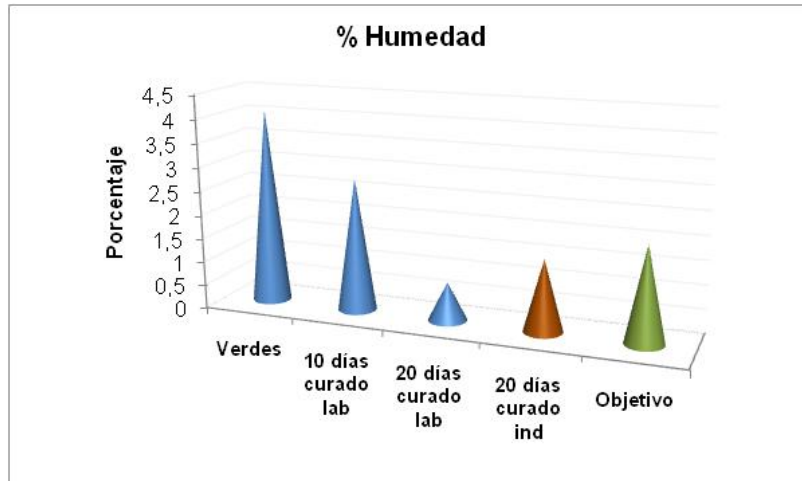


Figura 2. Resultados ensayo de humedad en briquetas actuales.

La generación de finos en el ensayo de caída cumple con la especificación a pocos días de curado (Figura 3)

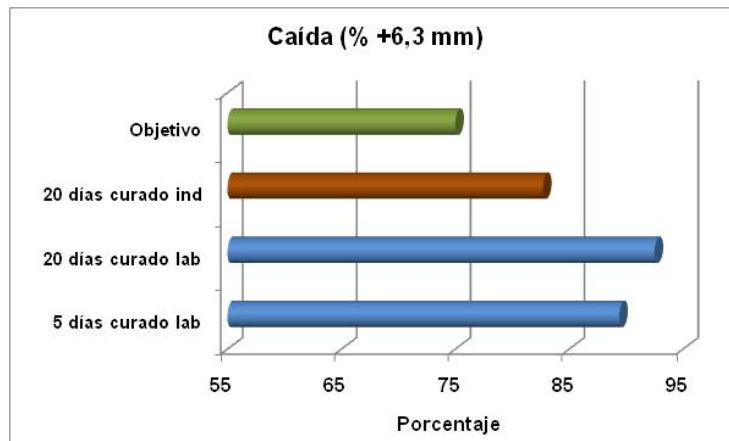


Figura 3. Resultados ensayo de caída en briquetas actuales.

La viruta que contienen las briquetas actuales, si bien aumenta la ley en hierro, tiene un efecto negativo sobre la resistencia a la rotura ya que propicia los sitios para la generación de fisuras, debido a que su suciedad no permite adhesión del aglomerante. Su uso sería factible con una limpieza adecuada y reducción en su tamaño de partícula.

La incorporación de polvo de decapado en la formulación de las briquetas actuales, afecta la cohesión de todos los integrantes de la formulación. Se encontró que su granulometría extremadamente fina dificulta la aglomeración adhiriéndose a las partículas de barro y gotas de melaza formando una capa superficial sobre las mismas, impidiendo la integración de todas las partículas con parte del aglomerante. Los finos de cal cálcica empleados para disminuir la humedad del barro y a su vez formar la liga con la melaza no logran hidratarse completamente, probablemente debido a la falta de mezclado intensivo, granulometría de los finos de cal y tiempo de permanencia en pila durante la hidratación. Esto lleva a fisuras en las briquetas durante su curado en pila con la consecuente generación de finos. Una molienda previa o zarandeo de los finos de cal para homogeneizar tamaños favorecería la hidratación y la integridad de los productos.

Los resultados sobre la resistencia de las briquetas con nuevas formulaciones (Prueba1), sin viruta y sin polvo de decapado, verifican que la incorporación de laminilla, a pesar de dar cuerpo a las briquetas muestra una disminución de la resistencia a la degradación (Figura 4).

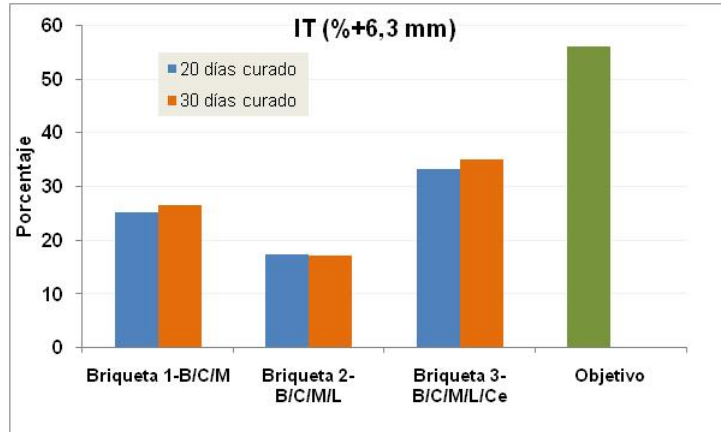


Figura 4. Resultados ensayo de caída en briquetas actuales (B:barro grueso LD, C:cal,M:melaza, Ce:cemento)

La incorporación de cemento común a la formulación, como era de esperar, se vió reflejado en un aumento de la resistencia de las briquetas (Figura 4).

En los ensayos realizados con las briquetas de la Prueba 2, donde se tomó como referencia la mezcla 3 y se evaluaron los efectos del contenido de cemento, presión, y granulometría de cal homogénea, se observa que al aumentar la cantidad de cemento de 2 a 5% se traduce en un mejor comportamiento mecánico de las briquetas y el índice de tambor, parámetro crítico en este estudio, alcanza su valor objetivo (Figura 5).

Comparando además con la briqueta conteniendo cemento de la Prueba 1, se observa que a pesar de contener un porcentaje de cemento intermedio (2,5%) el valor de índice de tambor es más bajo. Esto podría atribuirse a que en estas briquetas la granulometría de cal fue heterogénea en tanto que en la prueba 2 la granulometría de a cal fue más fina y homogénea lo que permite una mejor incorporación a toda la mezcla.

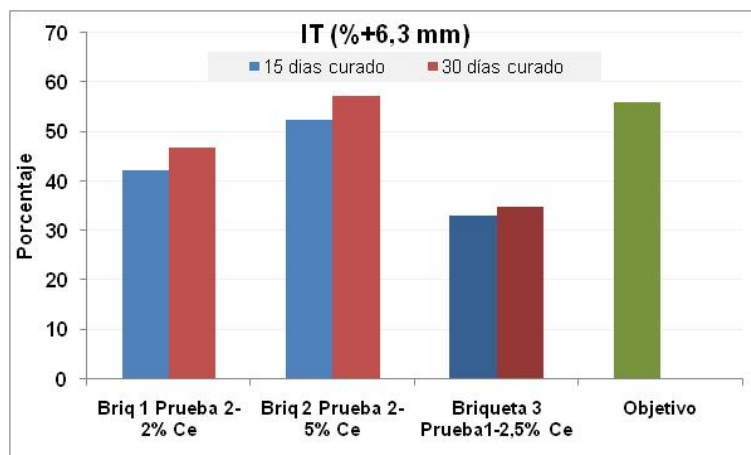


Figura 5. Índice de tambor vs % de cemento adicionado.

Las propiedades mecánicas de las briquetas de una misma formulación fueron mejoradas levemente cuando se trabajó a una presión inferior a la actual (Figura 6).

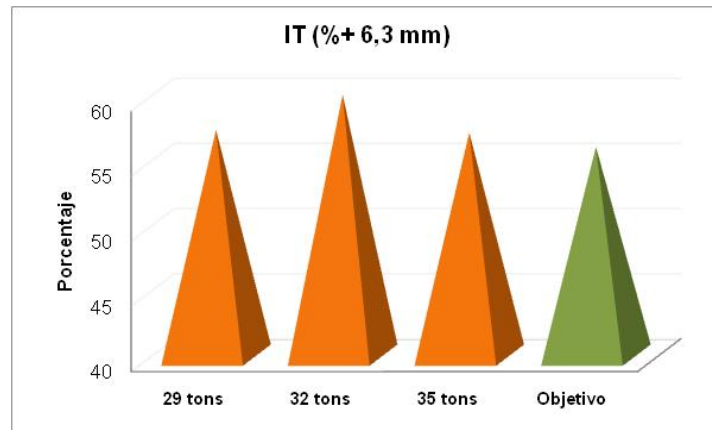


Figura 6. Índice de tambor vs presión de trabajo.

La resistencia a la caída no parece ser un parámetro crítico para las briquetas con más de 10 días de curado, independientemente de su formulación.

5 CONCLUSION

Se logró mejorar la resistencia de las briquetas mediante el ajuste de nuevas condiciones de operación:

- modificación de la formulación, se canceló el uso de polvo de decapado y viruta gruesa, de todas formas esto será evaluado ya que no se logra ajustar el contenido de hierro a la especificación;
- control de la granulometría de los finos de cal, por molienda o clasificación. Esto implica la incorporación de un sistema de molienda que permita reducir el tamaño de la cal y homogeneizarla;
- control de la humedad de la premezcla, para lograr un mejor control de la cantidad de aglomerante adicionado;
- incorporación de cemento común a la formulación, esto implica acondicionar una tolva para su adición en el proceso industrial y el estudio económico para su incorporación;
- pilas de curado ubicadas bajo techo y alturas de pila no superior a 2 metros, esto incluye contar con un lugar cerrado para el curado de las briquetas por al menos 30 días.