

“Elaboración de un Programa de Simulación de Molienda en el Ingenio Azucarero San Carlos, para Determinar la Eficiencia por Molinos de un Trapiche.”

Alvaro E. Oquendo Canizales¹, Manuel Helguero G².

RESUMEN

Se elaboró un programa para determinar el ajuste inicial de los molinos de un trapiche y los parámetros que se deben emplear para obtener una molienda eficiente, también se podrá analizar el comportamiento de variables velocidad y presión en el proceso, para analizar los efectos en la transmisión de los molinos. Paralelamente se realizan análisis de laboratorio, en puntos específicos del proceso, con presión hidráulica, velocidades de molinos previamente establecidas. Se observan las tendencias de eficiencia de extracción y se generan conclusiones y recomendaciones. Por último se hace referencia a un análisis de costos, para facilitar la decisión sobre posibles soluciones.

El programa en si, consta de varias hojas de cálculos en Excel, cada hoja tiene un objetivo determinado, siendo estos los siguientes: calcular la calibración que debe tener el trapiche al inicio de la zafra, establecer las variables velocidad y presión recomendadas para procesar una determinada cantidad de caña con la calibración inicial, jugar con las variables velocidad y presión en cada molino, para observar su acción desde el punto de vista mecánico, estudiar datos obtenidos en el laboratorio con las variables velocidad y presión determinadas, analizarlos y determinar en la práctica donde existe una alteración del proceso.

INTRODUCCION

Uno de los principales objetivos de la industria azucarera San Carlos, está centrado la obtención de la mayor y mejor extracción del jugo de la caña en cada molino de los Trapiches, dado que en el jugo se encuentra el producto final, el azúcar.

Actualmente la apertura de fronteras con los países del Pacto Andino y la situación que actualmente nos afecta, a hecho que los ingenios azucareros del Ecuador se preocupen en aumentar su capacidad y de mejorar la calidad de su producto. El intentar aumentar la capacidad invita a invertir grandes cantidades de dinero, por eso primero se ha mirado en como optimizar los recursos de los cuales se dispone para obtener el máximo provecho. Como referencia cabe indicar que en Ecuador existen 5 Ingenios Azucareros de los cuáles 2 de los 3 más importantes se encuentran en la provincia del Guayas. Estos deben competir en precios y en calidad en el mercado local, con un gran número de ingenios colombianos, peruanos y brasileños.

El proyecto contará con dos funciones específicas:

1. Encontrar los parámetros técnicos básicos para el funcionamiento de trapiche en el proceso, y analizar el comportamiento individual da cada molino y su efecto sobre los demás.
2. Utilizar análisis de laboratorio en puntos específicos del proceso, para analizar e interpretar dichos resultados.

Para formar este trabajo se ha usado conceptos ya encontrados en la industria azucarera, los mismos que han sido aplicados y acondicionados para el proceso específico en los trapiches detallados anteriormente.

CONTENIDO

Para determinar la calibración de montaje del trapiche se toma en cuenta varios aspectos:

1. Cuanta caña existe en el campo para ser procesada durante la zafra.
2. Se analiza la fibra de caña en los últimos 10 años, sacando un promedio.
3. Se analiza la caña en el campo y estima valores de Brix y Pol.
4. Los diámetros de mazas que van a ser usados.

En el Ingenio San Carlos se estimó que para el año 1999 se tendrían 1'600.000 TMC, cantidad que debía ser procesada en los dos trapiches durante 200 días de zafra. Una de las metas de la fábrica en este año es reducir su tiempo perdido al 20%, lo que implicaría 160 días netos de molienda. Tomando en cuenta que el trapiche "A" muele aproximadamente el 30% del total de la caña, se esperaba que por este pasaran 3000 TMC/Día y por el trapiche "B" 7000 TMC/Día. Luego se procede a revisar el banco de datos de laboratorio de fábrica donde se encuentra una fibra promedio en los últimos años entre 12,5% y 13,4%.

Aquí es necesario acotar que este año en especial no se podía usar el promedio histórico de la fibra de caña, por cuanto en la mitad del semestre del año 1997, el fenómeno del niño ocasionó la suspensión repentina de la zafra en ese año, quedando aproximadamente un 70% de la caña para el año 1998. En el año 1998 existían 1'800.000 TMC, que no iban a ser procesadas en su totalidad, creando una expectativa para el año 1999 donde aún se contaba con caña rezagada de 1 y hasta dos años. La experiencia en estos dos años indicaba que la fibra de caña debería estar entre 15% y 18% al inicio de temporada de zafra, posteriormente este valor disminuiría hasta los valores históricos anteriormente descritos. Caso parecido ocurriría con el Brix de jugo en la caña, porque al inicio se encontraría caña aguarapada, caña acostada, rebrotes y caña seca, que no es otra cosa que caña en mal estado, por ello se tomaría un Brix entre 9% y 12%, y al final Brix normales de 18%.

Con todo lo expuesto anteriormente se puede analizar dos tipos de calibración la primera fase para caña rezagada y la segunda fase para caña normal, estos dos casos serán tratados en la tabla I.

Tabla I.- Calibración de molinos Trapiche A para 3000TMC/Día

SALIDAS de MOLINOS TRAPICHE A(pulg)

	METODO	DESM.	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
PRIM ERA FASE	BRASIL	0,813	0,667	0,454	0,296	0,256	0,227	0,209
	HUGOT (1)	1,008	0,748	0,487	0,371	0,350	0,327	0,250
	HUGOT (2)	0,927	0,715	0,466	0,357	0,333	0,310	0,236
SEGU NDA FASE	BRASIL	0,598	0,490	0,334	0,218	0,188	0,167	0,154
	HUGOT (1)	0,721	0,535	0,348	0,265	0,250	0,234	0,179
	HUGOT (2)	0,682	0,526	0,343	0,262	0,245	0,228	0,173

ENTRADAS de MOLINOS TRAPICHE A (pulg)

	METODO	DESM.	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
PRIM ERA FASE	BRASIL	1,871	1,668	1,181	0,800	0,718	0,658	0,627
	HUGOT (1)	2,318	1,870	1,267	1,002	0,979	0,948	0,749
	HUGOT (2)	2,132	1,788	1,212	0,963	0,932	0,899	0,707
SEGU NDA FASE	BRASIL	1,375	1,226	0,868	0,588	0,528	0,484	0,461
	HUGOT (1)	1,657	1,337	0,906	0,717	0,700	0,678	0,536
	HUGOT (2)	1,568	1,315	0,891	0,708	0,685	0,661	0,520

Para la primera fase se toma como referencia una capacidad de molienda de 3000TMC/Día, con una fibra en bagazo de 17% y un Brix de 12%. En cambio para la segunda fase la fibra en bagazo disminuye a 12,5% y el Brix sube a 19%.

Comportamiento de los parámetros del proceso.- En la tercera parte del programa se pueden analizar independientemente los parámetros del proceso, y observar su efecto.

En la tabla II se muestran los parámetros para una molienda de 4000 TMC/Día, aquí se trabaja con las velocidades de las turbinas, se hace una relación de potencia consumida en cada molino, torque empleado, flotaciones, y presiones aplicadas.

La primera observación que salta a la vista es la no-flotación de los molinos, a pesar de que la demanda de potencia sólo es máxima en la turbina de los molinos 1-2-3.

Tabla II - a Parámetros de molienda a 4000 TMC/Día

PARAMETRO	DESM	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
VELOCIDAD EN RPM	5,2 rpm	6,0 rpm	6,5 rpm	7,3 rpm	5,7 rpm	5,5 rpm	5,3 rpm
VELOCIDAD DE TURBINAS	2900 rpm	3300 rpm			2650 rpm	2550 rpm	2450 rpm
PRESION MAX. APLICADA	2845 psi	3100 psi	3100 psi	2900 psi	3600 psi	3800 psi	3960 psi
POTENCIA REQUERIDA	307 HP	400 HP	398 HP	400 HP	395 HP	405 HP	403 HP
FLOTACION	0 mm	1 mm	1 mm	-2 mm	-1 mm	-2 mm	0 mm
TORQUE EMPLEADO	310 Klb-pie	324 Klb-pie	322 Klb-pie	323 Klb-pie	366 Klb-pie	389 Klb-pie	403 Klb-pie

Si se realiza este análisis en una de las turbinas del trapiche delante de los primeros molinos manteniendo la molienda estable, el molino no flotará, si se aumenta demasiado la velocidad, aumentará la humedad y disminuirá la extracción de este, por el contrario si se disminuye mucho la velocidad de la turbina para aumentar el tiempo de retención de bagazo, el molino tenderá a atorarse, además, el torque aplicado sobre la transmisión aumentará. Debe tomarse muy en cuenta el torque aplicado porque este define la posible falla de la transmisión, en el programa se realiza un análisis de torque empleado sobre la transmisión del molino específicamente en uno de los dientes del piñón mayor de la última reducción.

Análisis de perdidas basándose en la humedad del bagazo.- En el programa se analiza los datos de humedad del bagazo a la salida del molino y estima que valores finales deben tener los parámetros del proceso, indicando, además, que cantidad de azúcar se estima por cada TMC.

En la tabla III se observa que efecto tiene un punto adicional en la humedad del bagazo al relacionarlo con el rendimiento de sacos de azúcar por cada 100 TMC.

El programa generado al sugerir que luces deben haber entre los cilindros, las velocidades que se deben aplicar, las presiones máximas permisibles, persigue que se logre una molienda continua con la máxima eficiencia posible desde el punto de vista mecánico y de extracción de sacarosa.

Tabla III.- Rendimiento por sacos en función de la humedad del bagazo

Trapiche	Molino Nº	Variación % Humedad	Variación de rendimiento	Sacos de azúcar/100 TMC
A	Desmen	1%	0,02 Kg/TMC	0,04
A	1	1%	0,22 Kg/TMC	0,44
A	2	1%	0,23 Kg/TMC	0,46
A	3	1%	0,30 Kg/TMC	0,6
A	4	1%	0,21 Kg/TMC	0,42
A	5	1%	0,26 Kg/TMC	0,52
A	6	1%	0,43 Kg/TMC	0,86
B	1	1%	0,13 Kg/TMC	0,26
B	2	1%	0,39 Kg/TMC	0,78
B	3	1%	0,12 Kg/TMC	0,24
B	4	1%	0,45 Kg/TMC	0,9

CORRECCIONES OPERACIONALES EN EL PROCESO.- Las siguientes causas ocasionan alteraciones en el proceso:

- a) Una mala elección en la calibración inicial de los molinos no permite una correcta flotación, permitiendo una reabsorción de jugos entre las mazas bagaceras y superiores, Esta corrección puede ser ejecutada parcialmente una vez armado el molino, puesto que, está limitada la entrada de la maza bagacera por la posición y tamaño de la cuchilla central, y la ubicación del puente tornabagazo, El cerrar la salida del molino, involucra también que debe cerrarse la entrada, Para información general la cuchilla central limpia la maza cañera y es de acero fundido,

- b) Un mal trabajo de los raspadores de los meashester, o tacos formados por el bagazo en los canales laterales del molino, dispuestos para el desalojo del jugo, permite que éste supere la maza superior y entre en contacto con el bagazo a la salida del molino. Este problema tiene varias soluciones, como el supervisar que se realice una correcta limpieza y mantenimiento de los ductos de desalojo de jugos para no permitir la formación de tacos
- c) La velocidad excesiva de la turbina del molino no da el tiempo requerido para el desalojo del jugo contenido en el bagazo, por ello no se deben permitir velocidades que el operador estime convenientes, sino las velocidades recomendadas en el programa, Es muy posible que estas sufran pequeñas alteraciones pero eso es debido al estado de las mazas o a la variación momentánea de la fibra en la caña.
- d) Demasiada humedad del bagazo a la entrada del molino hace que el jugo supere la maza superior y entre en contacto este jugo con el bagazo que sale del molino, Para corregir esto se debe revisar el estado y las condiciones de trabajo del molino anterior.
- e) En los tanques de maceración se puede permitir que un jugo con menos Brix contamine a uno con mayor Brix pero no lo contrario.

CONCLUSIONES

Varios son los factores que afectan la extracción de los molinos estos son:

1. Diseño de la calibración inicial del molino: Ajuste de mazas, Diseño y ubicación de cuchilla central, disposición de presiones aplicadas En la tabla IV se presenta los valores de cómo está dispuesta la calibración en los molinos de ambos trapiches y cómo se sugiere debe ir.
2. En el caso del trapiche B, se recomienda moler más bajo, para salvaguardar la vida útil de las transmisiones, eso involucra cambiar los ajustes de calibración, como son entradas/salidas de los molinos, y ajuste de cuchilla. Al disminuir la velocidad de los molinos, se mejora el tiempo de retención del bagazo en el molino para poder exprimir la mayor cantidad de jugo, si un molino tiene una elevada velocidad, este no hará una buena extracción y recargará al otro molino, este a su vez al siguiente y así sucesivamente. Debe recordarse que al disminuir la velocidad disminuye la potencia consumida y por ende el consumo de vapor, pero el torque aplicado en la transmisión y/o reductores aumenta, esto puede incurrir en la falla de la transmisión. La rotura de matrimonios, la fisura en la corona de los engranajes de los reductores, el "pitting" y la deformación plástica en los dientes de los engranes de la tercera reducción, todos estos casos son por la presencia de elevados torques.
3. El estado físico del molino, se debe observar la forma y tipo de aportación de soldadura a las mazas, el estado de los bronce de los muñones y áreas de desalojo del jugo despejado.

Tabla IV.- Comparación de ajuste

	Trapiche A, 6000 Tmc/Día		Trapiche B, 6500 Tmc/Día	
	Actual	Sugerido	Actual	Sugerido
Desm.	2.500	3.135		
Molino 1	3.750/1.500	2.630/1.052	2.125/1.000	2.093/1.046
Molino 2	3.250/1.250	1.782/0.686	2.000/0.688	1.542/0.642
Molino 3	2.500/1.063	1.416/0.524	1.250/0.375	1.202/0.445
Molino 4	2.375/0.625	1.370/0.489	1.000/0.250	1.046/0.349
Molino 5	2.250/0.625	1.322/0.456		
Molino 6	1.625/0.250	1.040/0.347		

4. La presión aplicada en los cabezales hidráulicos, debe ser la necesaria para mantener la flotación deseada, de tal manera que la maza superior suba y baje de acuerdo al colchón de caña. Si se emplea una presión mayor lo que se va a lograr es un consumo excesivo de potencia por parte de la turbina al cuál no se le saca provecho.
5. La aplicación correcta de la imbibición en la cantidad recomendada 180 - 200 imbibición % fibra. Cuando se manejan altos volúmenes de carga en la molienda, se sugiere que la aplicación de agua caliente sea con presión. La distancia del punto de aplicación va en función de la velocidad promedio de alimentación del conductor, para permitir un 100% de absorción del agua por el bagazo.

Los factores enunciados anteriormente pueden ser analizados en función de la humedad del bagazo a la salida del molino, y es representado con costos en la tabla V. Nótese que 1% de humedad generalizado en los dos trapiches puede llegar a tener un costo de \$ 500.000.

En todos los ejemplos de simulación, la turbina de los molinos 1-2-3 del trapiche A, esta continuamente dando el máximo de potencia, y que las turbinas de los molinos 4-5-6 están trabajando siempre holgadas de potencia, por tanto, se sugiere eliminar la desmenuzadora, colocar en ese sitio el primer molino con una turbina de 600 HP, dejar la turbina de 1200 HP para los molinos 2-3, aumentando de esta manera el índice HP/Ton de caña del trapiche, habría otro beneficio, como el poder adicionar la cuarta maza en cada molino. El trabajo que está haciendo actualmente en conjunto la desmenuzadora y el primer molino, es similar al que haría un molino con cuarta maza, la ventaja del último es que forzaría la alimentación aumentando capacidad, por tanto, se puede concluir que no habrá, mayor variación el la pol en el bagazo después del sexto molino, pero si habrá un aumento sustancial en la capacidad de molienda.

En el análisis de resultado se determinó que al adicionar la cuarta maza el incremento en la molienda sería de aproximadamente 30%, mientras que el HP adicional requerido sería del 17%, que está disponible por el lado de las turbinas, en cuanto al incremento de vapor sólo sería de 200 HP instalados, lo que se representa un consumo adicional de 7.000 k-lb./hora de vapor.

En el trapiche B, el setting es muy similar al sugerido, por esto el aumento en la capacidad de molienda del trapiche A permitiría disminuir la molienda en el trapiche B y así lograr una mejor extracción en este. Los costos operacionales de ambos trapiches también se verían reducidos, por los siguientes motivos:

1. El trapiche A no tendría tanta intermitencia en la continuidad de la molienda, se ha notado que en los arranques aumentan las pérdidas en el bagazo hasta en un 100%, por ejemplo, si se tuviese un promedio de 10 arranques diarios, perdiendo 2,00% de pol por un lapso de 10 minutos en cada arranque, en 160 días de molienda real, las pérdidas serían de hasta \$ 144.000 en la zafra. Como dato adicional si el trapiche B para en promedio una vez por día se perdiesen hasta \$ 33.000 en la zafra.
2. El trapiche B, al disminuir ritmo de molienda se podría lograr una mejor extracción, cabe resaltar que cada 1% Pol, en 1'200.000 Tmc, tiene un costo \$ 3'460.000, de los cuales al momento \$ 2'419.000 son de entera responsabilidad del Trapiche B.
3. Por último la carga mecánica en el trapiche B se vería disminuida, disminuyendo por ende el costo de reparación anual que en los últimos años se ha venido incrementando por la fatiga en los equipos.

REFERENCIAS

1. INSTITUTO CUBANO DEL LIBRO, Capacidad para Ingenios de Crudo de Cuba, (Ciencia y Técnica, la Habana 1971), pp 1-39.
2. E. HUGOT, Manual para ingenieros Azucareros, (Segunda edición en Español 1984, Compañía Editorial continental S.A), pp 85-249.
3. MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, (Segunda edición en español, 1982, Volumen I, Editorial McGraw-Hill), pp 2,16-2,48.
4. FULTON IRON WORKS, Technical Aspects of Theoretical Mill Settings, Boletín.
5. THE SUGAR JOURNAL, Technical Aspects of Theoretical Mill Settings, (A. B. Chirgwin, Manager of sugar Machinery Engineering Farrel-Birmingham Co., Boletín 1960).
6. RICHARD W. GREENE, Flujo de Fluidos Crane, (McGraw-Hill, 1992)
7. JOSEPH EDUWARD SHIGLEY, Diseño en Ingeniería Mecánica, (Tercera Edición, 1983, Editorial McGraw-Hill), pp 602-660.
8. JULIO C. DIAZ, Aplicaciones Industriales de Soldadura, (Boletín 1989).

9. M. Dedini S.A., Ajustes dos Rolos e Cálculos das Aberturas, (Boletín).

¹ Ingeniero Mecánico 2000

² Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1980, Postgrado Italia, Universidad de Roma San Pietro in Vincoli 1980, Profesor de la ESPOL desde 1980