

OPTIMIZACIÓN DE LA CARGA DE Na_2SO_3 Y Na_2CO_3 EN EL PROCESO NSSC DE *Eucalyptus viminalis*

María C. Area¹; Fernando E. Felissia¹,
Javier E. Clermont¹, Alberto D. Venica²

¹ Programa de Investigación de Celulosa y Papel -
FCEQyN – UNAM – Argentina

² Massuh S.A - Argentina

Introducción

- Este trabajo estudia la respuesta al proceso NSSC de *Eucalyptus viminalis*.
- Se varían las cargas de Na_2SO_3 y Na_2CO_3 , intentando conocer el impacto que produce la minimización del agregado de químicos.
- Esto redundará en:
 - Economía de reactivos.
 - Disminución de compuestos inorgánicos en los licores residuales.
 - Valorización de los mismos.

Parte experimental

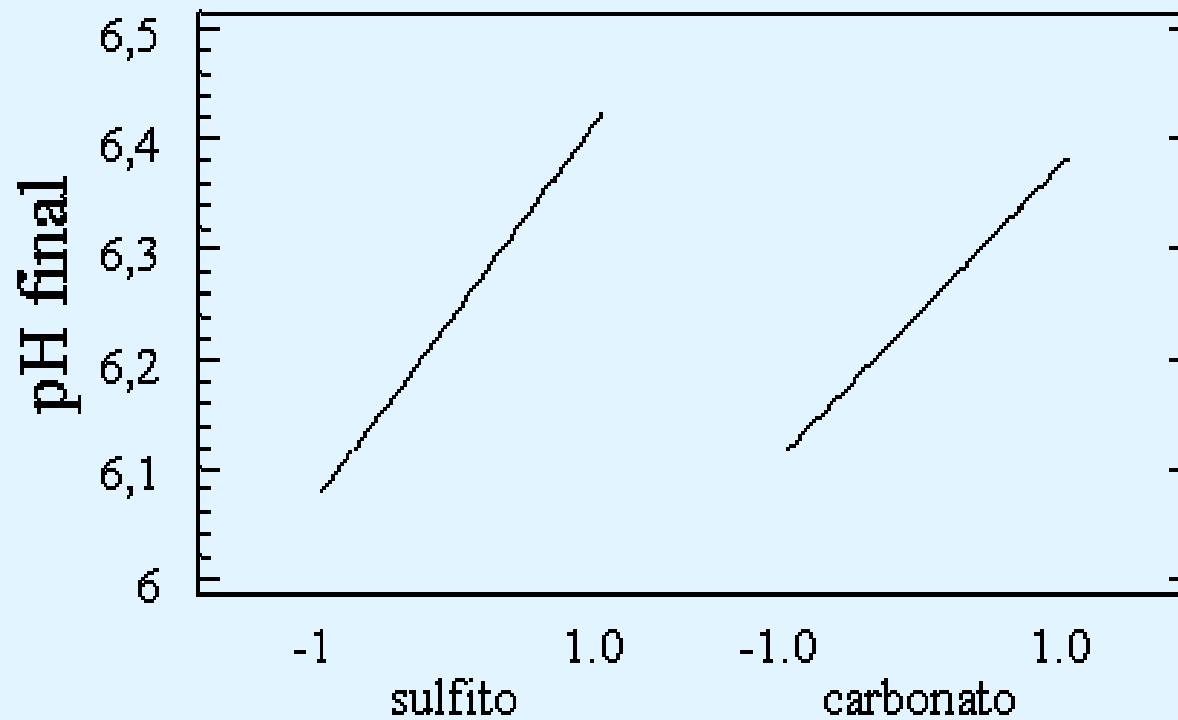
Puntos del diseño 2^2

Nivel (variables transformadas)	SO ₃ ⁼ (g/kg madera seca 100%)	CO ₃ ⁼ (g/kg madera seca 100%)
-1	111	5
0	128	10
+1	145	15

Niveles de las variables en las cocciones realizadas

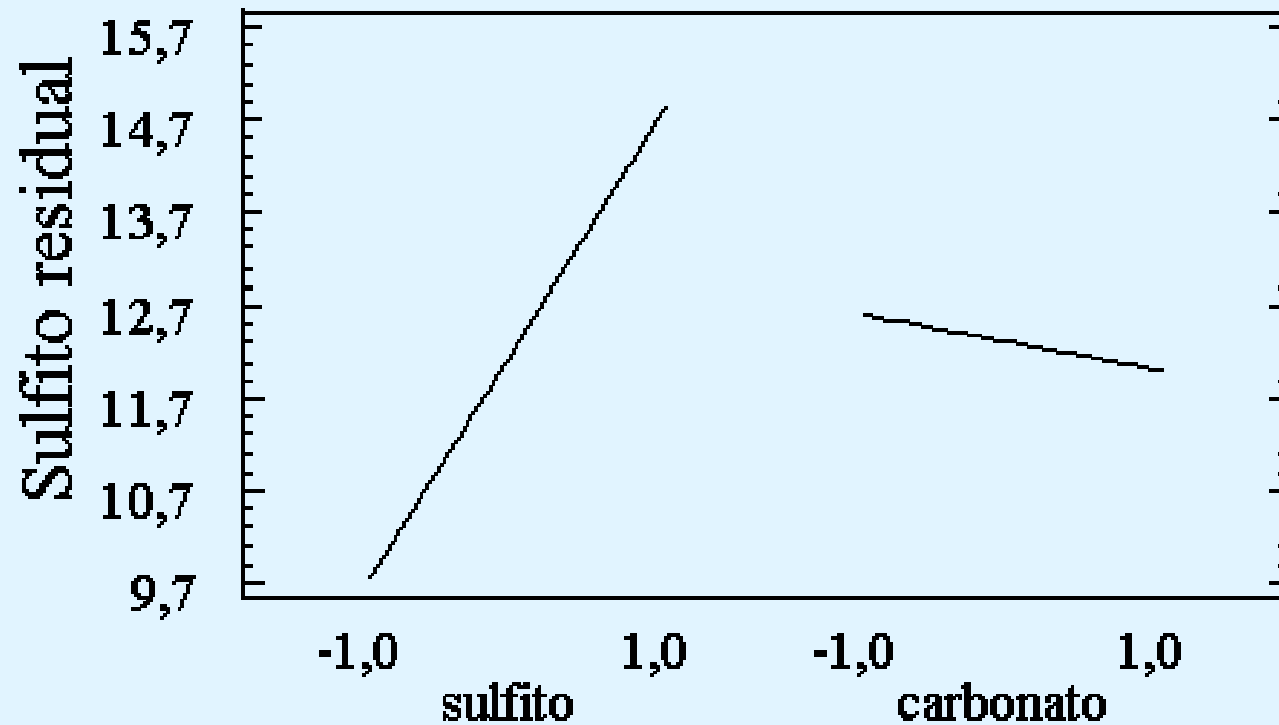
Cocción	A	B	C	D	E
SO ₃ ⁼ (g/kg de madera seca 100%)	145	128	145	111	111
CO ₃ ⁼ (g/kg de madera seca 100%)	5	10	15	15	5

Resultados



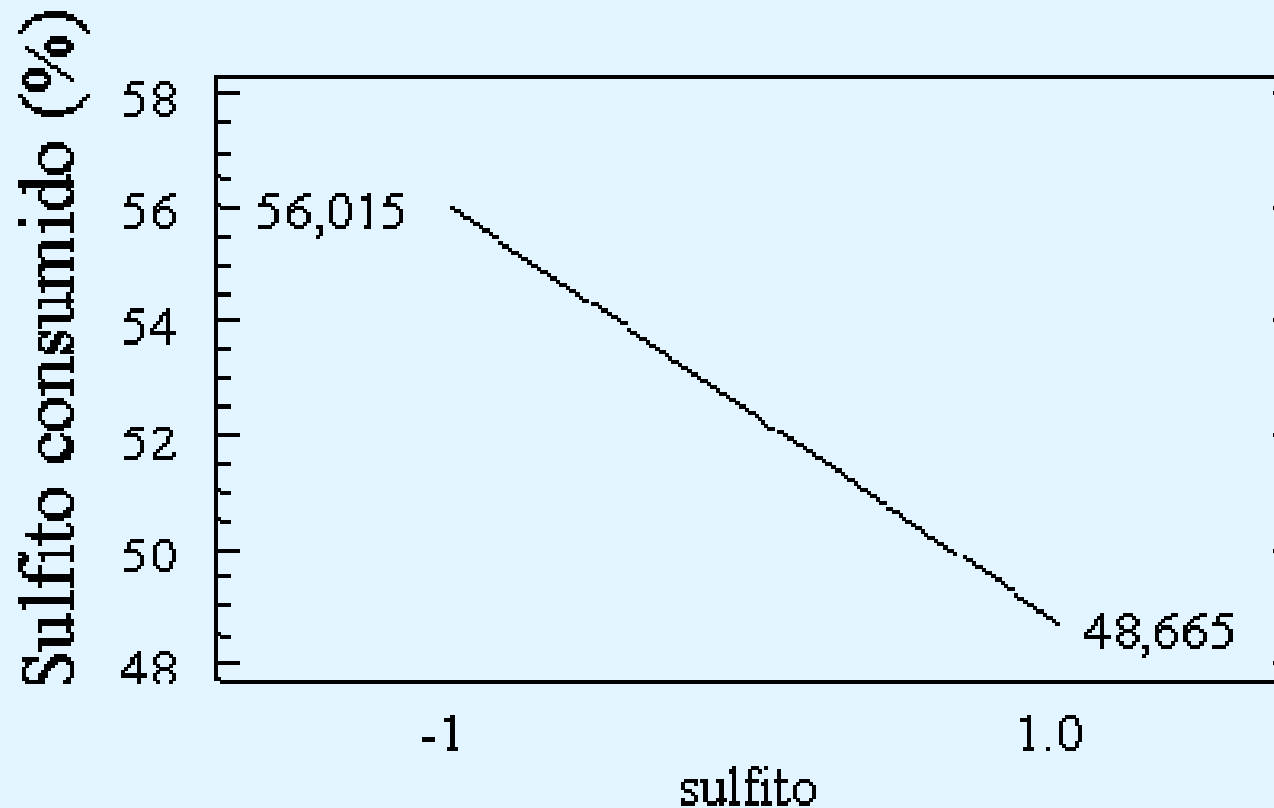
$$\text{pH final} = 4,69 + 0,010 \cdot \text{sulfito} + 0,026 \cdot \text{carbonato}$$

Resultados



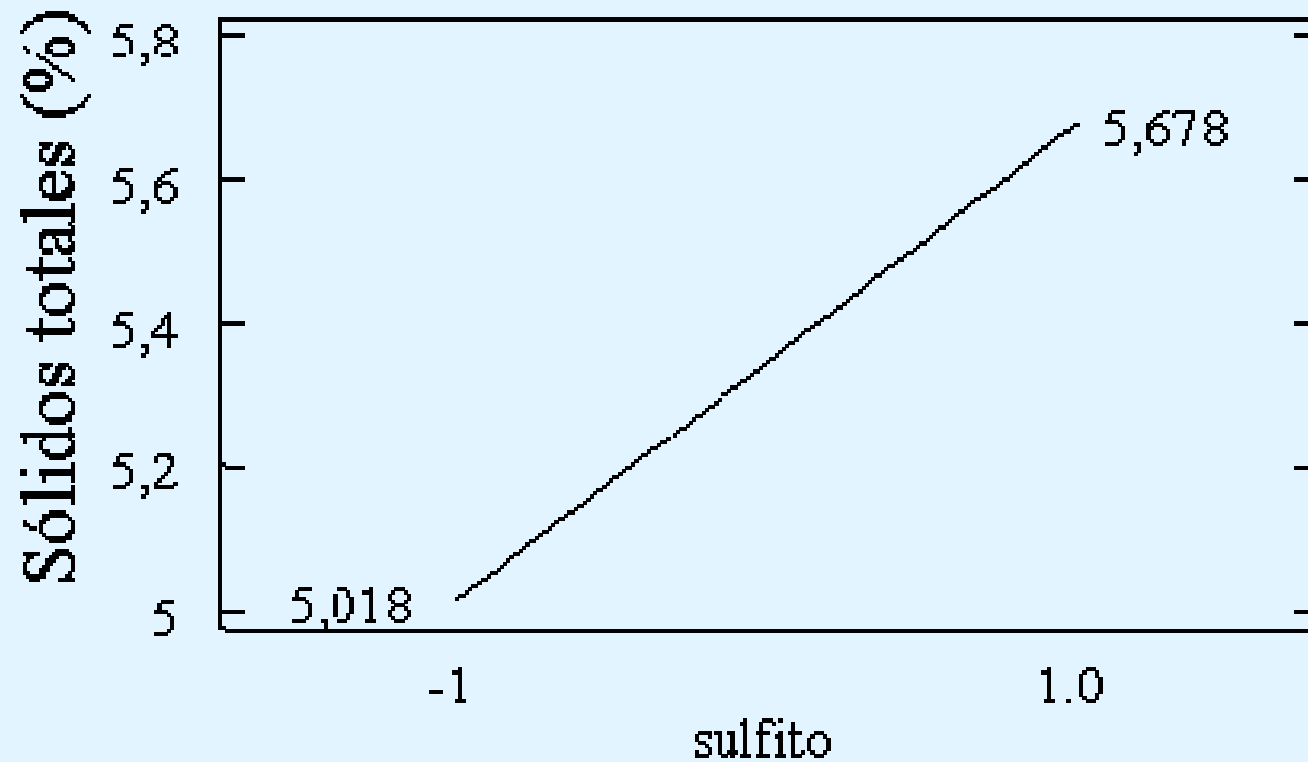
$$\text{Sulfito residual (g/L)} = - 6,9 + 0,15 \cdot \text{sulfito}$$

Resultados



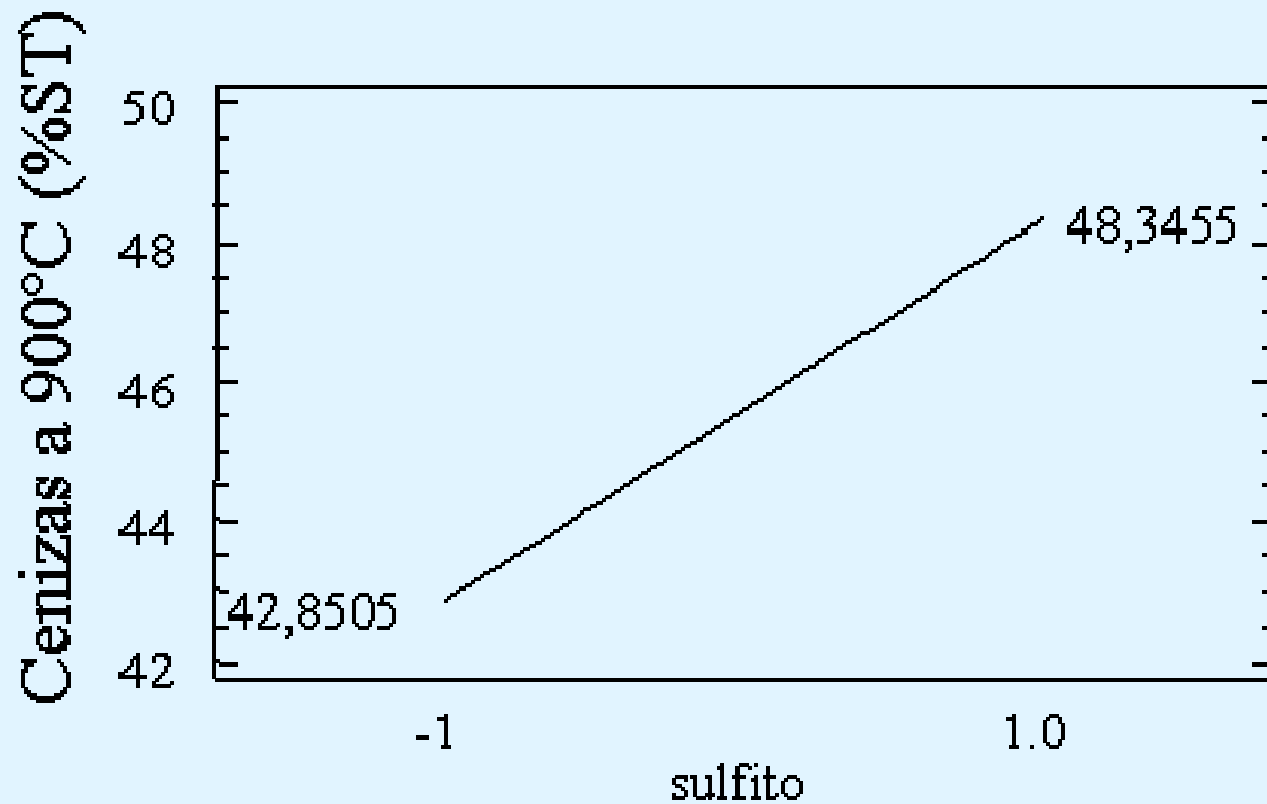
$$\text{Sulfito consumido (\%)} = 80,0 - 0,22 * \text{sulfito}$$

Resultados



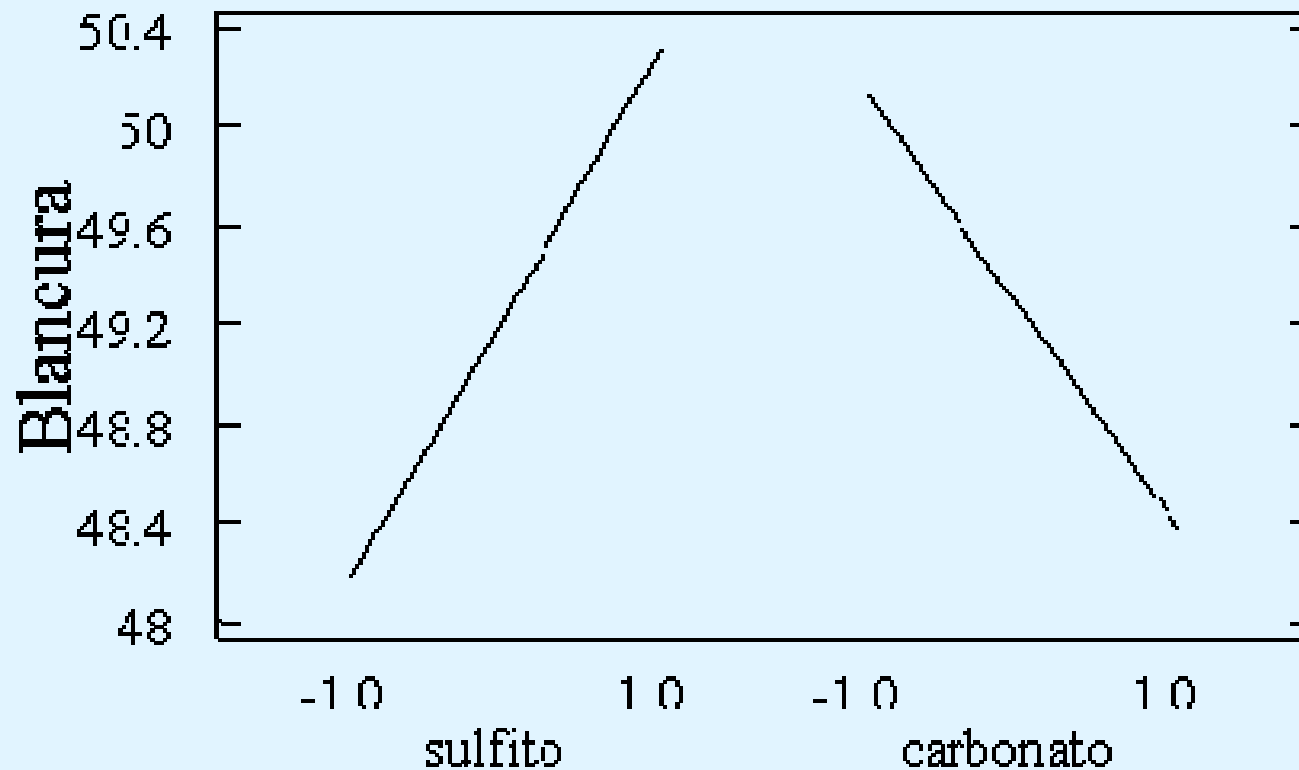
$$\text{Sólidos totales (\%)} = 2,86 + 0,019 * \text{sulfito}$$

Resultados



$$\text{Cenizas a } 900^{\circ}\text{C (\%ST)} = 24,91 + 0,162 * \text{sulfito}$$

Resultados



$$\text{Blancura (\% ISO)} = 42,95 + 0,063 \cdot \text{sulfito} - 0,175 \cdot \text{carbonato}$$

Verificación de ecuaciones

- De las ecuaciones surge que:
 - una disminución de la carga de Na_2SO_3 , producirá una reducción del contenido de sólidos inorgánicos en el licor.
 - para mantener pH cercanos a 7 en el licor residual, debería aumentarse la carga de carbonato.

$\text{SO}_3^=$ = 90 g/kg

$\text{CO}_3^=$ = 20 g/kg

Rendimiento = 79,9 %

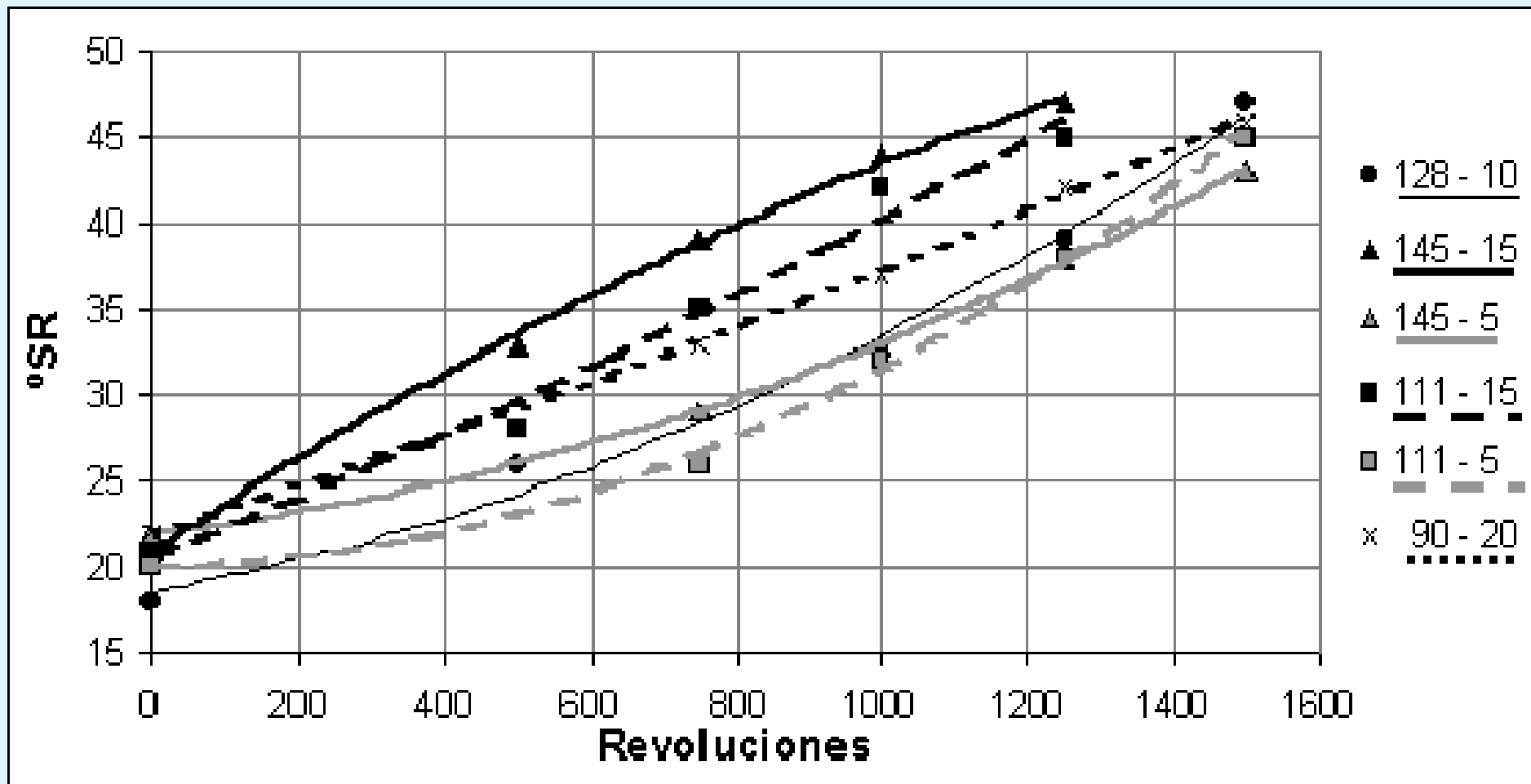
Verificación de ecuaciones

	Predicho	Observado	Diferencia	Diferencia porcentual
pH final	6,11	6,23	-0,12	2%
Sulfito residual (g/kg)	6,6	5,6	+1	18%
Sulfito consumido (%)	60,2	69,1	-8,9	13%
Sólidos totales (%)	4,57	4,96	-0,39	8%
Cenizas (900°C) (%)	39,5	39,7	-0,2	0,4%
Blancura (%ISO)	45,1	46,6	-1.5	3%

Recálculo de las ecuaciones

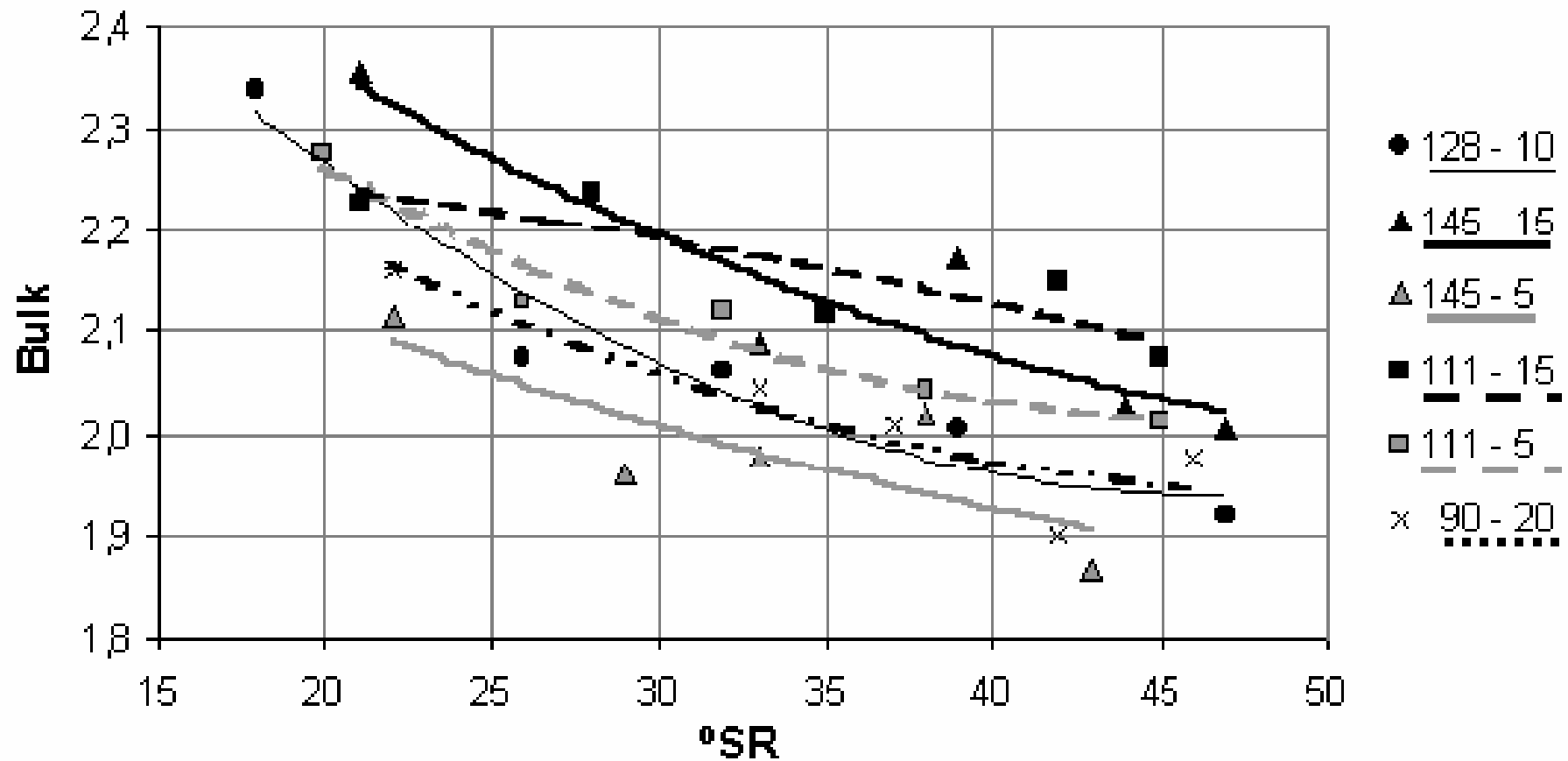
pH final =	$4,69 + 0,010*\text{sulfito} + 0,026*\text{carbonato}$
	(sin cambios)
Sulfito residual (g/L) =	$- 6,3 + 0,15*\text{sulfito} - 0,06*\text{carbonato}$
Sulfito consumido (%) =	$77,8 - 0,22*\text{sulfito} + 0,22*\text{carbonato}$
Sólidos totales (%) =	$2,86 + 0,019*\text{sulfito}$
	(sin cambios)
Cenizas a 900°C (%ST) =	$24,91 + 0,162*\text{sulfito}$
	(sin cambios)
Blancura (% ISO) =	$42,95 + 0,063*\text{sulfito} - 0,175*\text{carbonato}$
	(sin cambios)

Energía de refino



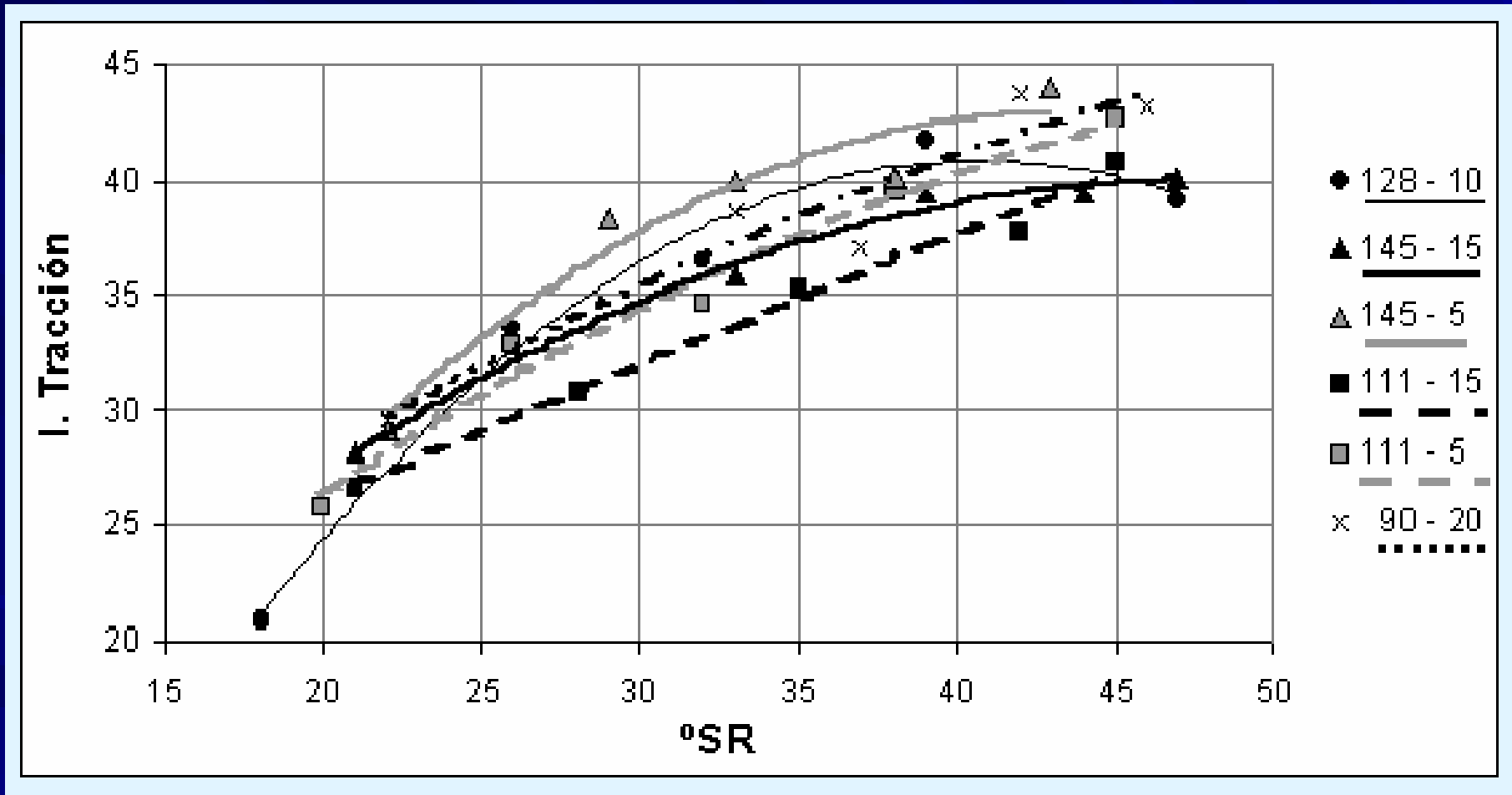
$$^{\circ}\text{SR} = 0,582 * \text{CO}_3 = + 0,107 * \text{SO}_3 = + 0,017 * \text{Revoluciones PFI}$$

Propiedades físicas



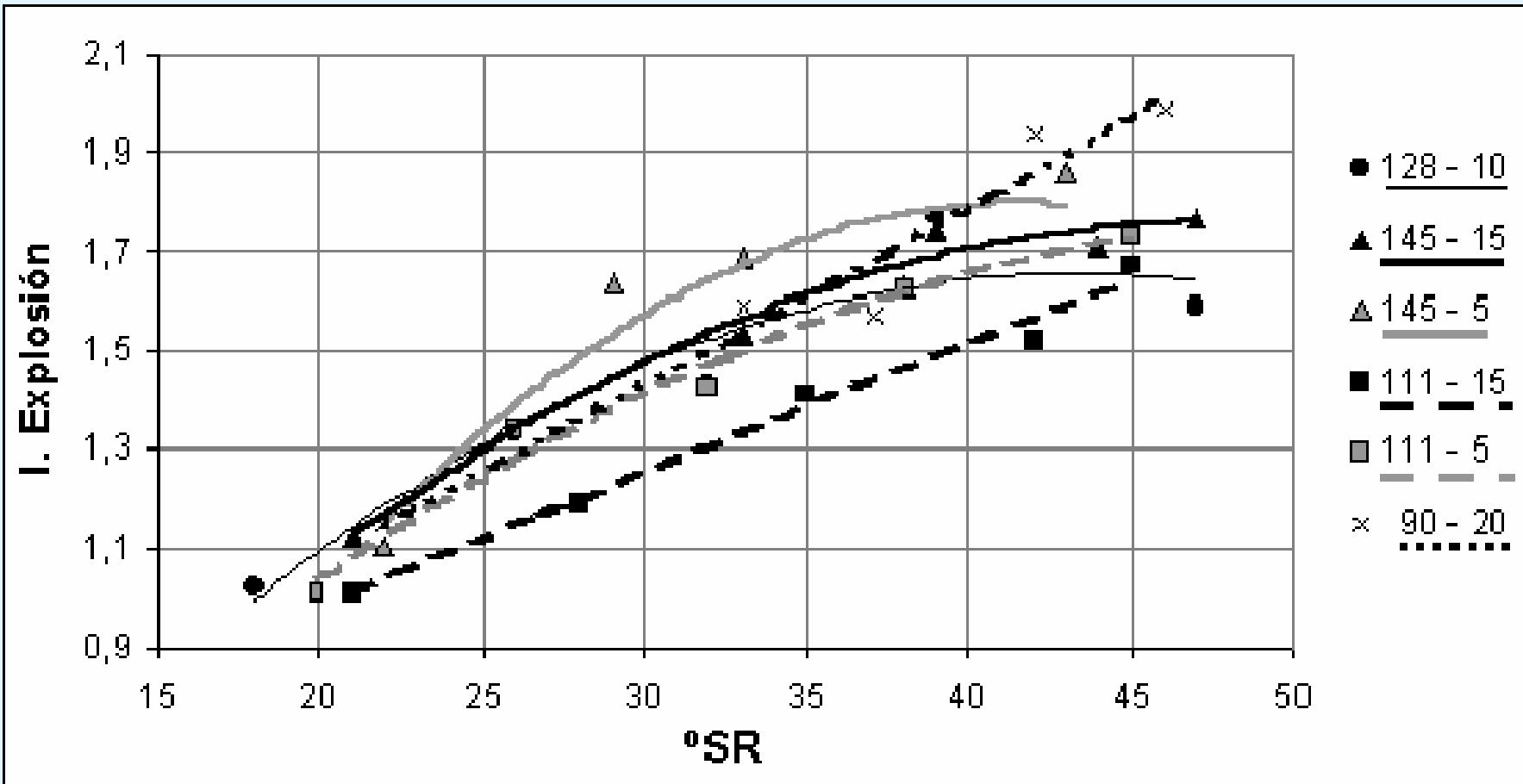
$$\text{Bulk} = 0,0076 \cdot \text{CO}_3 = + 0,0391 \cdot \text{SO}_3 = - 0,00016 \cdot (\text{SO}_3 =)^2 - 0,0089 \cdot \text{°SR}$$

Propiedades físicas



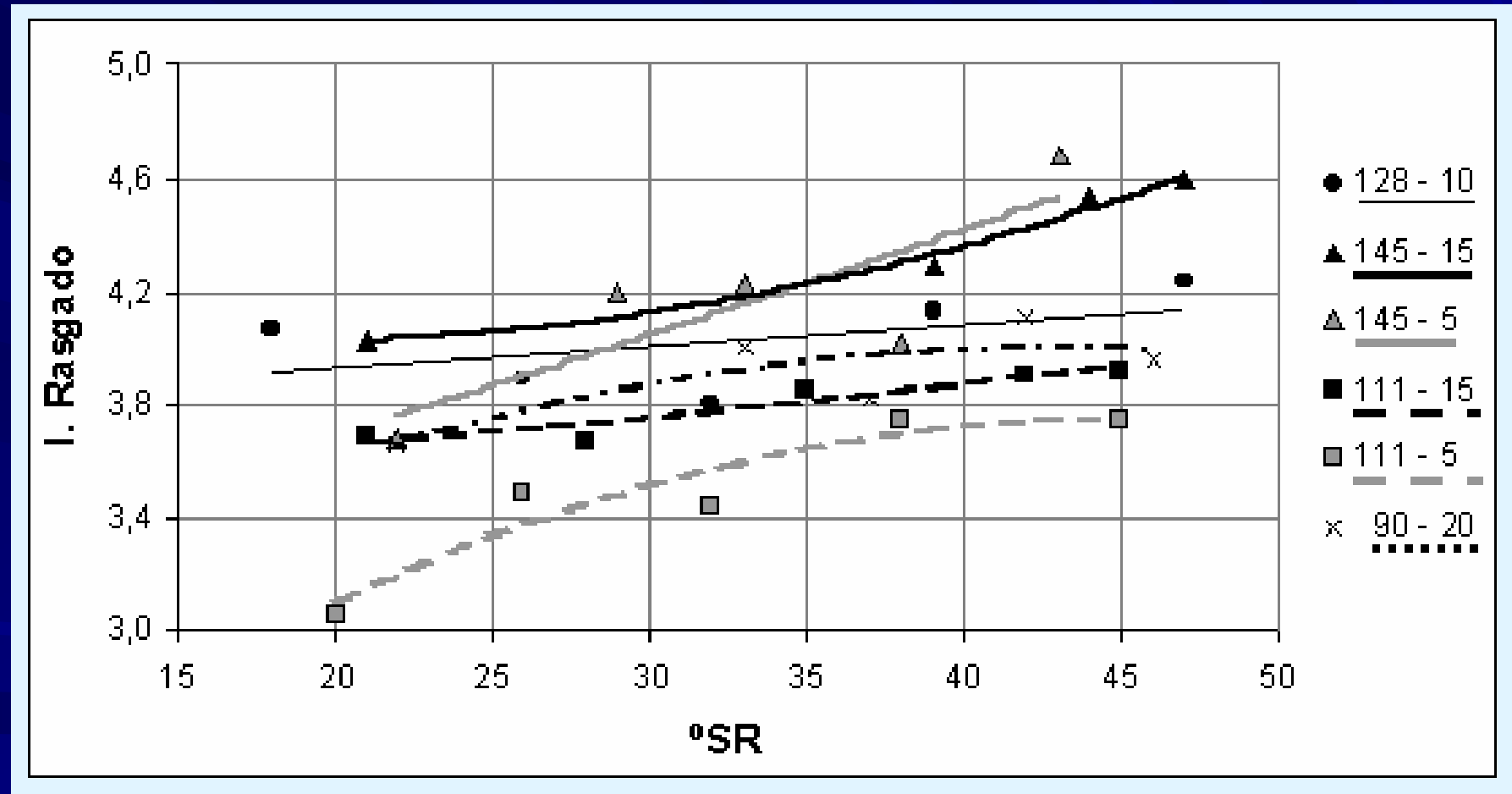
$$I. \text{ Tracción} = -1,6007 \cdot \text{CO}_3^- + 0,0687 \cdot (\text{CO}_3^-)^2 + 0,3571 \cdot \text{SO}_3^- - 0,0012 \cdot (\text{SO}_3^-)^2 + 0,5651 \cdot \text{°SR}$$

Propiedades físicas



$$I. \text{ Explosión} = -0,0968 \cdot \text{CO}_3 = + 0,0044 \cdot (\text{CO}_3 =)^2 + 0,0124 \cdot \text{SO}_3 = - 0,00003 \cdot (\text{SO}_3 =)^2 + 0,0270 \cdot \text{°SR}$$

Propiedades físicas



$$I. \text{ Rasgado} = 0,0016*(CO_3^-)^2 + 0,0357*SO_3^- - 0,0001*(SO_3^-)^2 + 0,0189* \text{°SR}$$

Ecuaciones para las cocciones

Propiedad	Ecuación	R ² (%)	Nºdatos
pH final	$4,69 + 0,010 *SO_3^- + 0,026 *CO_3^-$	98,8	5
Sulfito residual (g/L)	$- 6,3 + 0,15 *SO_3^- - 0,06 * CO_3^-$	98,3	5
Sulfito consumido (%)	$77,8 - 0,22 *SO_3^- + 0,22 * CO_3^-$	88,6	5
Sólidos totales (%)	$2,86 + 0,019 *SO_3^-$	86,3	5
Sólidos inorgánicos (%ST)	$24,91 + 0,162 *SO_3^-$	95,6	5
Blancura (% ISO)	$42,95 + 0,063 *SO_3^- - 0,175 * CO_3^-$	91,7	5

Ecuaciones propiedades físicas

Propiedad	Ecuación	R ² (%)	Nºdatos
°SR	$0,582 * CO_3^- + 0,107 * SO_3^- + 0,017 * Rev.PFI$	99,9	30
Volumen específico	$0,0076 * CO_3^- + 0,0391 * SO_3^- - 0,00016 * (SO_3^-)^2 - 0,0089 * SR$	99,9	28
I.Tracción	$-1,6007 * CO_3^- + 0,0687 * (CO_3^-)^2 + 0,3571 * SO_3^- - 0,0012 * (SO_3^-)^2 + 0,5651 * SR$	99,7	28
Elongación	$-0,0575 * CO_3^- + 0,0029 * (CO_3^-)^2 + 0,0146 * SO_3^- - 0,00004 * (SO_3^-)^2 + 0,0165 * SR$	99,5	28
TEA	$-1,6352 * CO_3^- + 0,0700 * (CO_3^-)^2 + 0,0730 * SO_3^- + 0,6124 * SR$	98,1	28
I.Explosión	$-0,0968 * CO_3^- + 0,0044 * (CO_3^-)^2 + 0,0124 * SO_3^- - 0,00003 * (SO_3^-)^2 + 0,0270 * SR$	99,6	30
I.Rasgado	$0,0016 * (CO_3^-)^2 + 0,0357 * SO_3^- - 0,0001 * (SO_3^-)^2 + 0,0189 * SR$	99,9	30
Resistencia al aire	$-0,0461 * SO_3^- + 0,0002 * (SO_3^-)^2 + 0,1543 * SR$	97,3	30

Uso de las ecuaciones

Simulación de condiciones

Sulfito (g/kg)	90	90	100	100	150*	150*
Carbonato (g/kg)	20	25*	15	25*	15	20
°SR	35	35	35	35	35	35
pH final	6,11	6,24	6,08	6,34	6,58	6,71
Sólidos inorgánicos (%ST)	39,49	39,49	41,11	41,11	49,21	49,21
Blancura (% ISO)	45,1	44,2	46,6	44,9	49,8	48,9
Volumen específico (cm³/g)	2,06	2,10	2,11	2,19	2,07	2,11
I.Tracción (N m/g)	37,19	44,66	34,34	45,83	36,45	40,48
Elongación (%)	1,57	1,93	1,42	2,00	1,65	1,87
TEA (J/m²)	23,30	30,87	19,96	31,60	23,61	27,68
I.Explosión (kPa m²/g)	1,60	2,11	1,37	2,17	1,56	1,84
I.Rasgado (mN m²/g)	3,80	4,16	3,71	4,35	4,40	4,68
Resistencia al aire (s)	2,95	2,95	2,89	2,89	3,21	3,21

Uso de las ecuaciones

Optimización de variables

- Con un software se buscó el valor óptimo de una fórmula introducida en la celda objetivo.
- El programa ajusta los valores en las celdas que se especifiquen, generando el resultado en la fórmula de la celda objetivo.
- Pueden aplicarse restricciones a los valores que puede utilizar el programa en el modelo.
- Las restricciones pueden hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

Objetivo	pH = 7	SI= mínimo	blanco= máximo	SI=41	pH=6,75
Restricciones	SI ≤ 40	pH ≥ 6,3	pH ≥ 6,3	pH ≥ 6,3	°SR ≥ 20
		blanco ≥ 40	SI ≤ 40	blanco ≥ 40	SI ≤ 40
Sulfito (g/kg)	93,15	60,52**	93,15	99,32	89,65
Carbonato (g/kg)	53,02**	38,65**	26,10	25,00	44,75**
°SR	35*	35*	35*	35*	20
pH final	7,00	6,30	6,30	6,33	6,75
Sólidos inorgánicos (%ST)	40,00	34,71	40,00	41,00	39,43
Blancura (% ISO)	39,54	40,00	44,25	44,83	40,77
Volumen específico (cm³/g)	2,35	1,76	2,14	2,18	2,38
I.Tracción (N m/g)	150,48	77,58	47,15	45,76	99,22
Elongación (%)	6,64	3,39	2,05	2,00	4,51
TEA (J/m²)	138,31	67,20	33,23	31,55	85,80
I.Explosión (kPa m²/g)	9,03	4,40	2,27	2,16	5,85
I.Rasgado (mN m²/g)	7,72	4,89	4,31	4,34	
Resistencia al aire (s)	2,93	3,38	2,93	2,89	0,64

Conclusiones

Acción sobre el licor residual

	Disminución del Na_2SO_3	Aumento del Na_2CO_3
Sulfito residual (g/L)	Disminución	Disminución
Sulfito consumido (%)	Aumento	Aumento
Sólidos totales (%)	Disminución	Sin cambios
Sólidos inorgánicos (%)*	Disminución	Sin cambios

Conclusiones

Acción sobre las pulpas

	Disminución del Na_2SO_3	Aumento del Na_2CO_3
Energía de refino*	Aumento	Disminución
Contenido de astillas (%)	Disminución	Aumento
Contenido de finos (%)	Sin cambios	Sin cambios
Volumen específico	Disminución	Aumento
Indices de tracción, explosión, Elongación, TEA	Disminución	Aumento
Indice de rasgado	Disminución	Aumento
Resistencia al paso de aire	Disminución	Sin cambios
Blancura inicial	Disminución	Disminución
Dispersión de la luz (light scattering) y Opacidad	Sin cambios	Sin cambios

Conclusiones

- En el rango de concentraciones de Na_2SO_3 de 90 a 145 g/kg y de Na_2CO_3 de 5 a 20 g/kg, se encuentra que:
 - La facilidad de refino ($^{\circ}\text{SR}$), el volumen específico, los índices de tracción, explosión y rasgado, la elongación, y el TEA varían significativamente con ambas variables.
 - La resistencia al paso de aire, varía solamente con el nivel de agregado de sulfito al licor.
 - La blancura inicial depende de ambos reactivos.
 - La opacidad y la dispersión de la luz no varían con este rango de químicos, ni tampoco con el refino (rev. PFI, $^{\circ}\text{SR}$ o finos).

Conclusiones

- Con las ecuaciones obtenidas se puede:
 - Predecir con suficiente exactitud las características del licor residual, y algunas propiedades de las pulpas
 - Optimizar algunas respuestas.

Agradecimientos

- El trabajo se enmarca en el convenio Massuh S.A.-FCEQYN, UNaM.
- Personal técnico interviniente (PROCYP):
 - Ing. Olga Barboza
 - Ing. Dora Bengoechea
 - Ing. Claudio Pavlik
 - Ing. Susana Aguilar
 - Ing. Pedro Meza.