



IBUs

***Métodos de cálculo y
análisis de funciones***

Diego “Van der Saar” Castro

IBU: International Bitterness Unit

- **Son los miligramos de iso-alfa ácidos por litro de cerveza.**
- **Los alfa ácidos son los compuestos que isomerizados aportan amargor a la cerveza (ej: humulona, cohumulona, adhumulona).**
- **Los IBUs establecen el nivel de amargor de una cerveza, y se determinan en laboratorio mediante el uso de espectrofotómetros.**

Y cómo se pueden calcular los IBUs a nuestro nivel?

Métodos empíricos

Diversos autores proponen sus métodos...

- ***Daniels* (Designing Great Beers, Brewers Publications 1996)**
- ***Rager* (Calculating Hop Bitterness in Beer, Zymurgy Special Issue 1990 Vol 13, No. 4)**
- ***Garetz* (Using Hops, The Complete Guide to Hops for the Craft Brewer, Hop Tech 1994).**
- ***Tinseth* (<http://www.realbeer.com/hops>)**

Generalmente son de la forma:

$$\text{IBU} = \sum W * U * \text{AA} * 1000 / (V * F)$$

Donde:

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después del hervor en litros.

F: Factor de corrección.

U: Factor de utilización.

U es la fracción de los alfa ácidos que se isomeriza en iso-alfa ácidos (ej: U = 0,30 implica que el 30% de los alfa ácidos se isomerizan)

Cómo se estima “U”?

Depende del método elegido, pero se relaciona con el tiempo de hervor y la densidad...

Daniels

$$IBU = \Sigma W * U * AA * 1000 / (V * F)$$

Donde:

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después del hervor en litros.

F: Factor de corrección.

$$\text{Si } G_{\text{boil}} < 1050; F = 1$$

$$\text{Si } G_{\text{boil}} > 1050; F = 1 + [(G_{\text{boil}}/1000 - 1,050)/0,2]$$

$$\text{donde } G_{\text{boil}} = \{[(OG/1000 - 1) * V / V_{\text{pre boil}}] + 1\} * 1000$$

U: Factor de utilización.

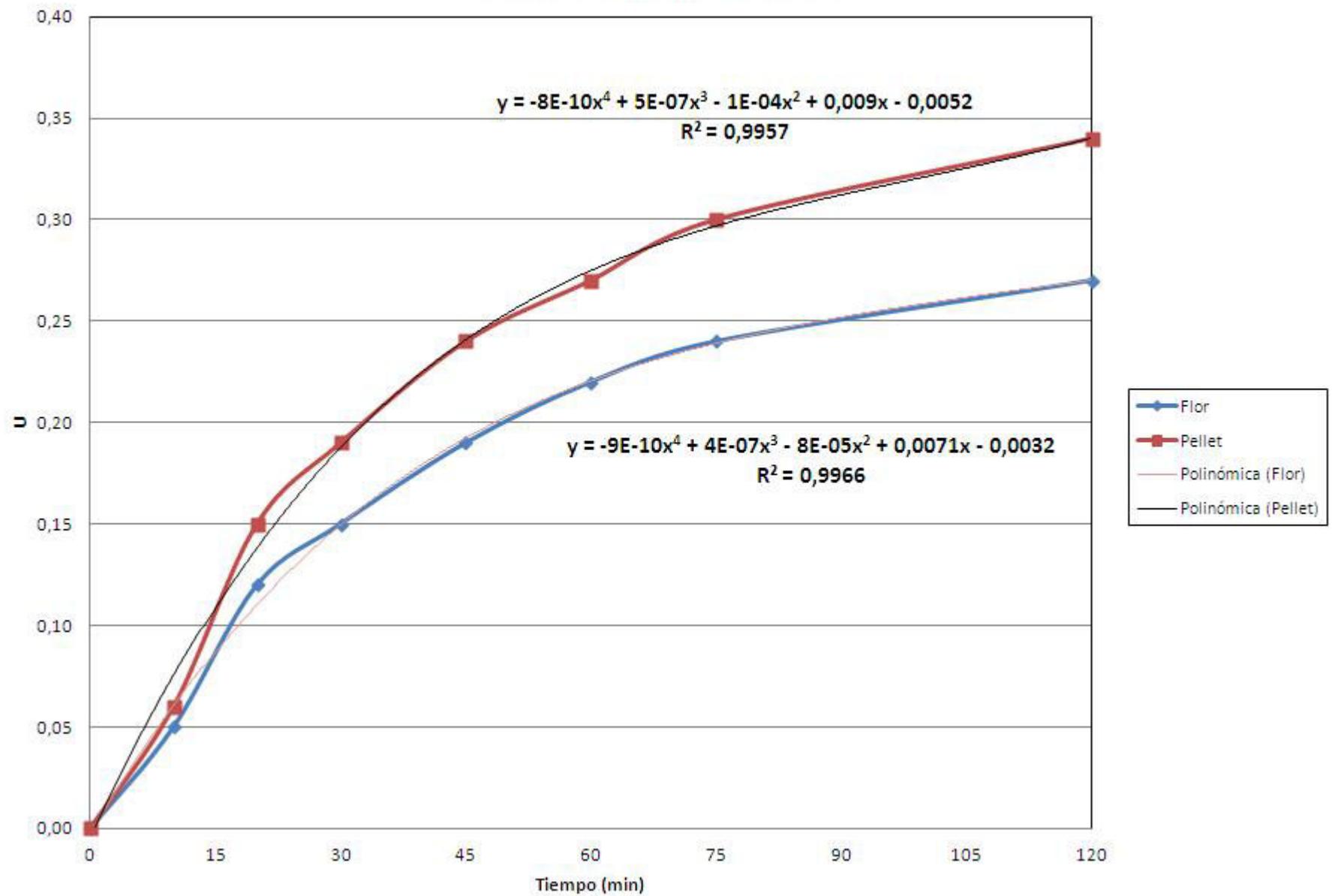
Daniels

t hervor (min)	U	
	Flor	Pellet
0 – 10	0,05	0,06
10 – 20	0,12	0,15
20 – 30	0,15	0,19
30 – 45	0,19	0,24
45 – 60	0,22	0,27
60 – 75	0,24	0,30
> 75	0,27	0,34

Consideraciones:

- No se trabaja con “escalones” sino con curvas de incremento gradual
- Por cuadrados mínimos, se buscan las curvas $U=f(t)$ que mejor se ajusten

U vs Tiempo (Daniels)



Daniels

Ejemplo 1:

Datos:

30 gramos Cascade en pellets, 7% AA, 60 min

10 gramos Saaz en flor, 3% AA, 5 min

OG: 1060, $V_{pre\ boil}$: 22 litros, V: 20 litros

Calculamos...

$$G_{boil} = \{[(1060/1000 - 1) * 20 / 22] + 1\} * 1000 = 1055 > 1050$$

$$\text{Por ende } F = 1 + [(1055/1000 - 1,050)/0,2] = 1,025$$

Daniels

$$U(\text{pellet, 60 min}) = 0,27$$

$$U(\text{flor, 5 min}) = 0,03$$

=>

$$IBU = (30 * 0,27 * 0,07 + 10 * 0,03 * 0,03) * 1000 / (20 * 1,025)$$

$$**IBU = 28,10**$$

Rager

$$IBU = \Sigma W * U * AA * 1000 / (V * F)$$

Donde:

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después del hervor en litros.

F: Factor de corrección.

$$\text{Si } G_{\text{boil}} < 1050; F = 1$$

$$\text{Si } G_{\text{boil}} > 1050; F = 1 + [(G_{\text{boil}}/1000 - 1,050)/0,2]$$

$$\text{donde } G_{\text{boil}} = \{[(OG/1000 - 1) * V / V_{\text{pre boil}}] + 1\} * 1000$$

U: Factor de utilización.

Rager

t hervor (min)	U
0 – 5	0,050
5 – 10	0,060
10 – 15	0,080
15 – 20	0,101
20 – 25	0,121
25 – 30	0,153
30 – 35	0,188
35 – 40	0,228
40 – 45	0,269
45 – 120	0,320

Consideraciones:

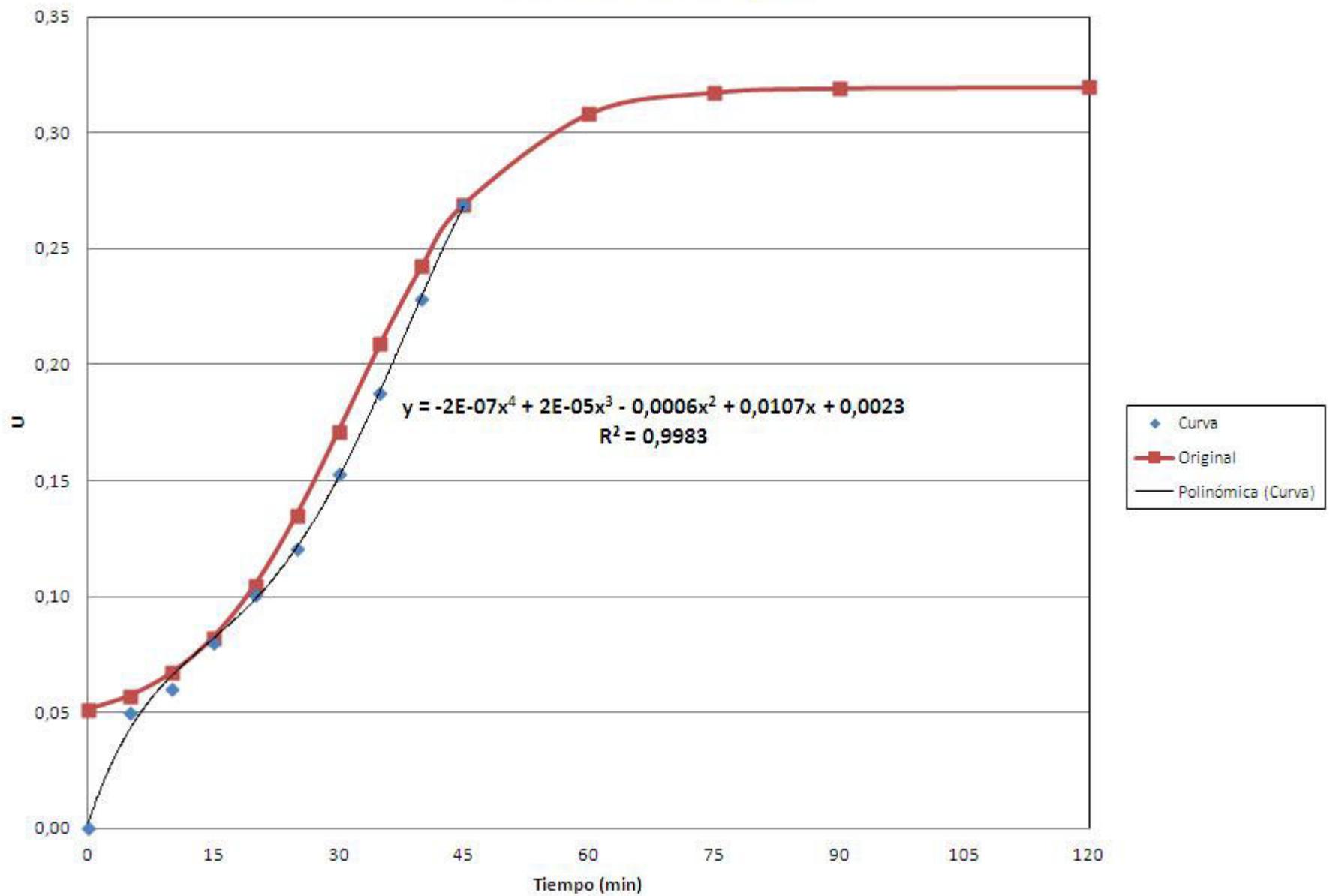
- No se trabaja con “escalones” sino con curvas de incremento gradual
- Para valores menores a 45 minutos, se descarta la ecuación original:

$$U = \{18,11 + 13,86 * \tanh[(t - 31,32)/18,27]\}/100$$

por no ajustar el cero

- Para valores mayores a 45 minutos, se adopta la ecuación original para poder extrapolar

U vs Tiempo (Rager)



Rager

Ejemplo 2:

Datos:

30 gramos Cascade en pellets, 7% AA, 60 min

10 gramos Saaz en flor, 3% AA, 5 min

OG: 1060, $V_{pre\ boil}$: 22 litros, V: 20 litros

Calculamos...

$$G_{boil} = \{[(1060/1000 - 1) * 20 / 22] + 1\} * 1000 = 1055 > 1050$$

$$\text{Por ende } F = 1 + [(1055/1000 - 1,050)/0,2] = 1,025$$

Rager

$$U(60 \text{ min}) = 0,31$$

$$U(5 \text{ min}) = 0,04$$

=>

$$IBU = (30 * 0,31 * 0,07 + 10 * 0,04 * 0,03) * 1000 / (20 * 1,025)$$

$$IBU = 32,34$$

Garetz

$$\text{IBU} = \sum W * U * \text{AA} * 1000 / (V * F)$$

Donde:

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después del hervor en litros.

F: Factor de corrección.

U: Factor de utilización.

En este caso, el cálculo de “F” es más complejo...

Garetz

$$F = G_f * T_f * H_f$$

Donde:

G_f: Factor de densidad.

$$\text{Si } G_{\text{boil}} < 1050; G_f = 1$$

$$\text{Si } G_{\text{boil}} > 1050; G_f = 1 + [(G_{\text{boil}} / 1000 - 1,050) / 0,2]$$

$$\text{donde } G_{\text{boil}} = \{[(OG/1000 - 1) * V / V_{\text{pre boil}}] + 1\} * 1000$$

T_f: Factor de temperatura.

$$T_f = [(Elev) * 0,3048/550] * 0,02 + 1$$

Elev: Elevación en metros sobre el nivel del mar.

H_f: Factor de tasa de lupulación.

$$H_f = (V / V_{\text{pre boil}}) * (IBU_{\text{deseados}} / 260) + 1$$

Es necesario iterar! Lo veremos bien en el ejemplo...

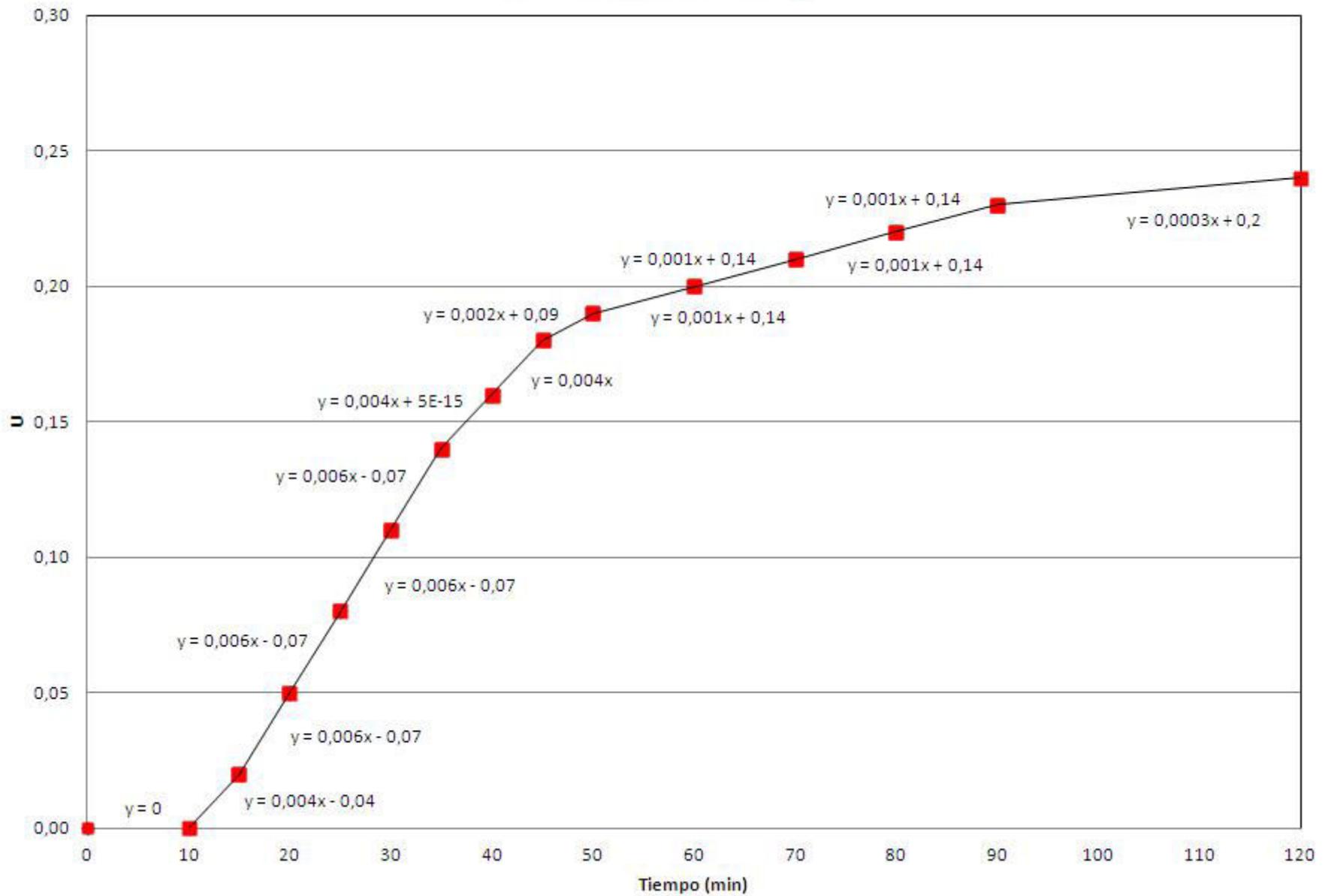
Garetz

t hervor (min)	U
0 – 10	0,00
10 – 15	0,02
15 – 20	0,05
20 – 25	0,08
25 – 30	0,11
30 – 35	0,14
35 – 40	0,16
40 – 45	0,18
45 – 50	0,19
50 – 60	0,20
60 – 70	0,21
70 – 80	0,22
80 – 90	0,23
90 – 120	0,24

Consideraciones:

- No se trabaja con “escalones” sino con curvas de incremento gradual
- La utilización a los 120 minutos es supuesta (llega hasta 90 min)
- Se asume linealidad entre cada uno de los puntos de $U = f(t)$; se trazan rectas que interpolen los valores

U vs Tiempo (Garetz)



Garetz

Ejemplo 3:

Datos:

30 gramos Cascade en pellets, 7% AA, 60 min

10 gramos Saaz en flor, 3% AA, 5 min

OG: 1060, $V_{pre\ boil}$: 22 litros, V: 20 litros, 0 metros s.n.m.

Calculamos...

1) $U(60\ min) = 0,20$; $U(5\ min) = 0,00$

2) $G_{boil} = \{[(1060/1000 - 1) * 20 / 22] + 1\} * 1000 = 1055 > 1050$

Por ende $Gf = 1 + [(1055/1000 - 1,050)/0,2] = 1,025$

Garetz

3) $Tf = (0 * 0,3048/550) * 0,02 + 1 = 1$

4) Asumo $IBU_{deseados} = 20$

5) $Hf = (20/22) * (20/260) + 1 = 1,070$

6) $F = 1,025 * 1 * 1,070 = 1,097$

7) $IBU = (30 * 0,20 * 0,07 + 10 * 0,00 * 0,03) * 1000 / (20 * 1,097) = 19,14$

8) IBU obtenido por cálculo es igual a $IBU_{deseado}$?

Sí => Fin

No => Tomo $IBU_{deseado} = 19,14$ y vuelvo a 5)

En el ejemplo, la segunda iteración da **$IBU = 19,24$** => Ok

(3 iteraciones máximo converge)

Tinseth

$$IBU = \sum W * U * AA * 1000 / V$$

Donde:

W: Peso del lúpulo en gramos.

AA: % de alfa ácidos / 100.

V: Volumen después del hervor en litros.

U: Factor de utilización.

$$U = \text{Bigness Factor} * \text{Boil Time Factor}$$

Tinseth

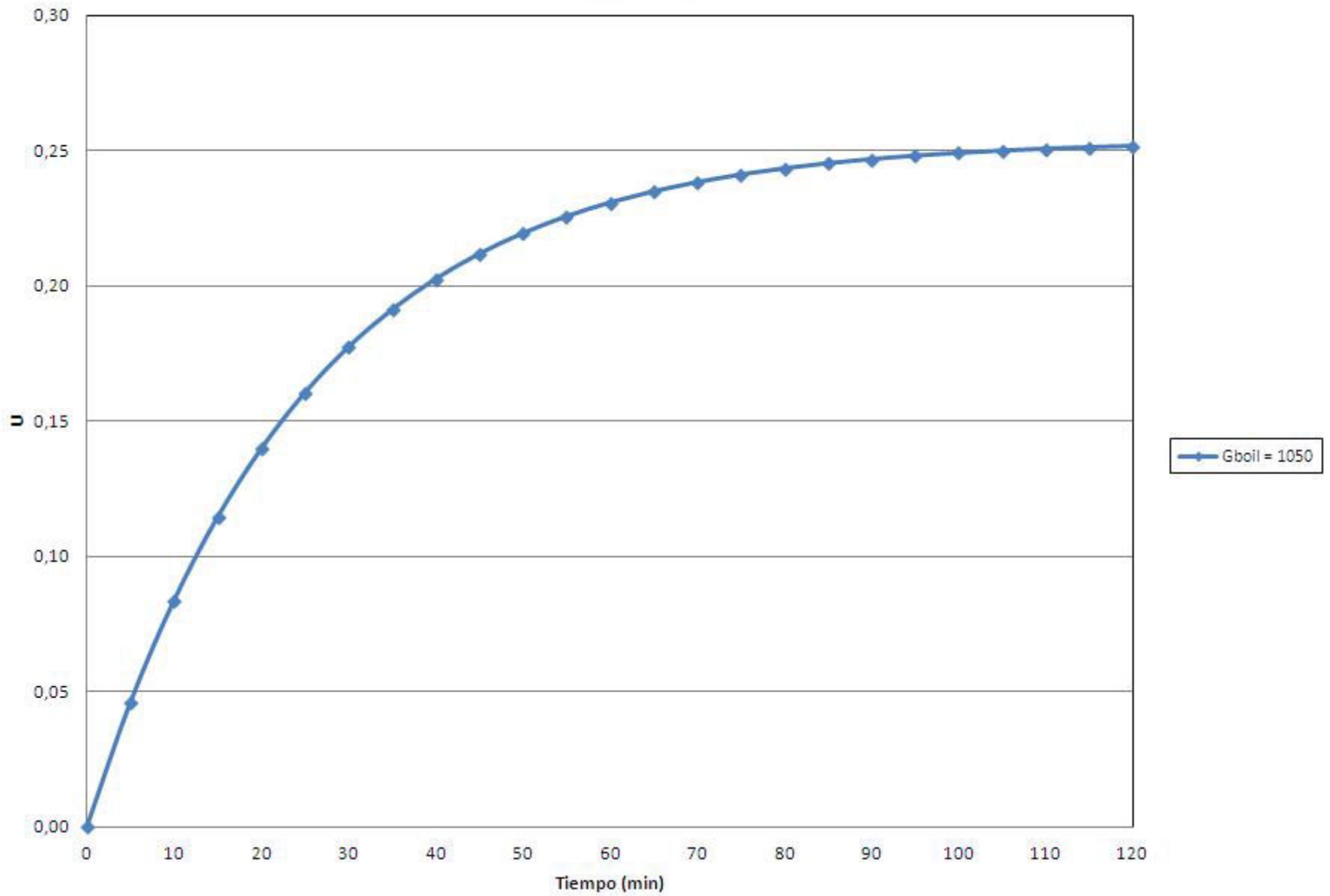
$$\text{Bigness Factor (BF)} = 1,65 * 0,000125^{[(G_{\text{boil}}/1000) - 1]}$$

$$\text{Boil Time Factor (BTF)} = [1 - e^{(-0,04*t)}]/4,15$$

$$G_{\text{boil}} = \{[(OG/1000 - 1) * V / V_{\text{pre boil}}] + 1\} * 1000$$

t: Tiempo de hervor en minutos.

U Tinseth



Tinseth

Ejemplo 4:

Datos:

30 gramos Cascade en pellets, 7% AA, 60 min

10 gramos Saaz en flor, 3% AA, 5 min

OG: 1060, $V_{pre\ boil}$: 22 litros, V: 20 litros

Calculamos...

$$G_{boil} = \{[(1060/1000 - 1) * 20 / 22] + 1\} * 1000 = 1055$$

$$BTF(60\ min) = 0,219; BTF(5\ min) = 0,044$$

$$BF = 1,007$$

$$U(60\ min) = 0,221; U(5\ min) = 0,044$$

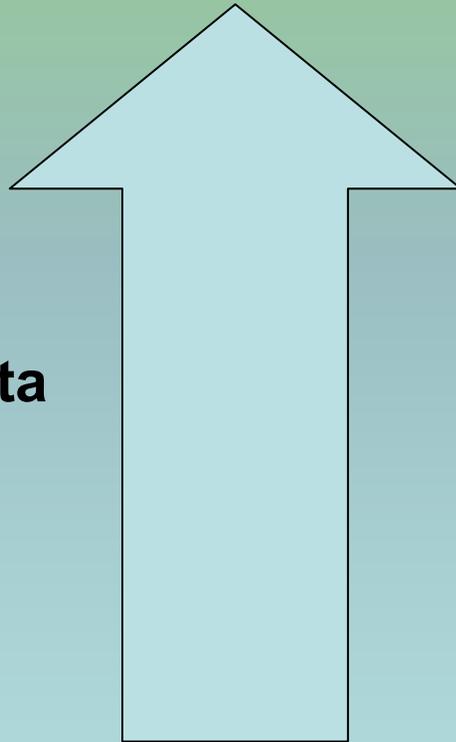
Tinseth

$$IBU = (30 * 0,219 * 0,07 + 10 * 0,044 * 0,03) * 1000 / 20 = 23,66$$

$$IBU = 23,66$$

Comparativo de resultados

+ Optimista



Rager: 32,34

Daniels: 28,10

Tinseth: 23,66

Garetz: 19,24

Análisis de funciones

Se analizará el comportamiento de las funciones en los tres casos a continuación:

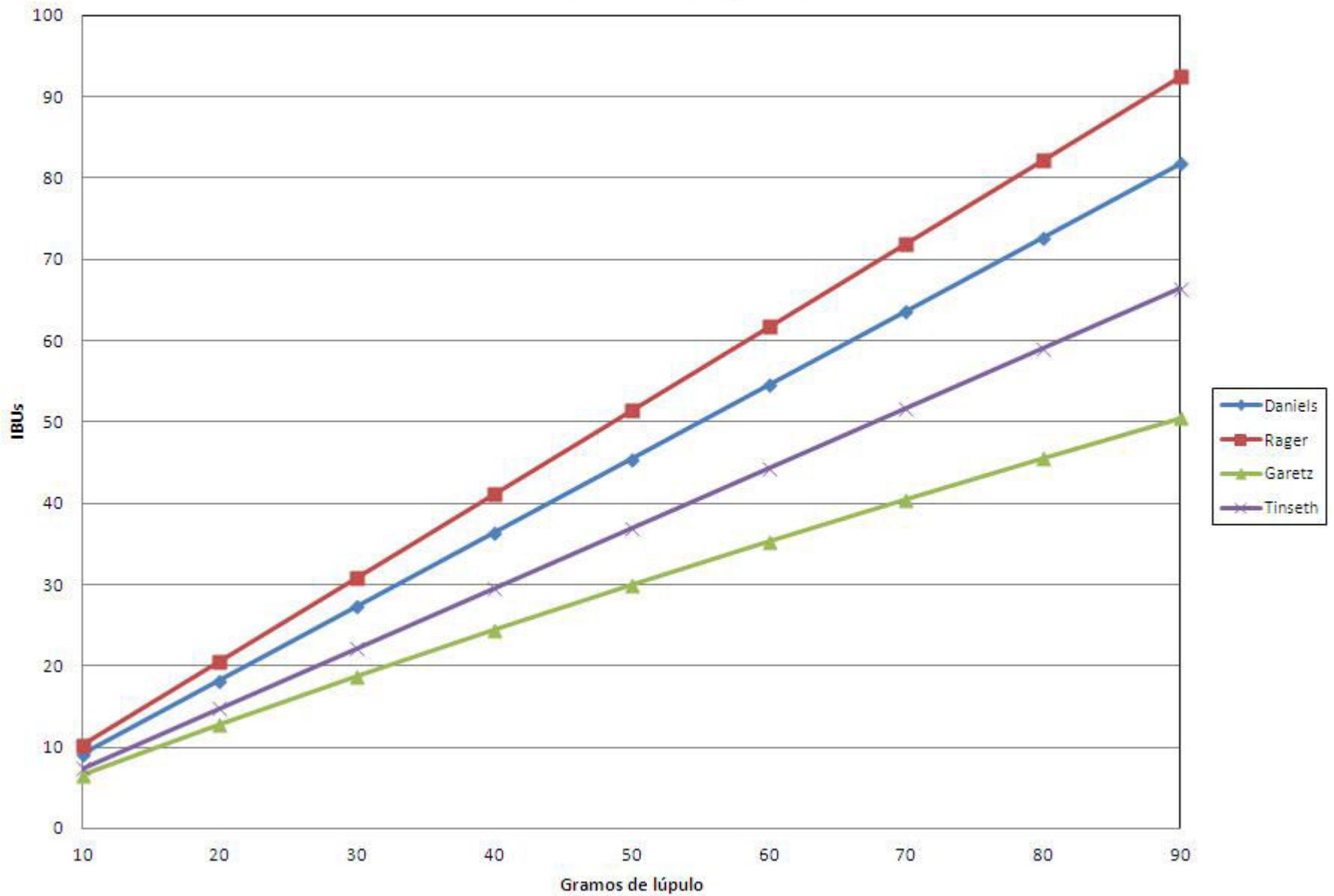
- **$IBU = f(W)$**

- **$IBU = f(t)$**

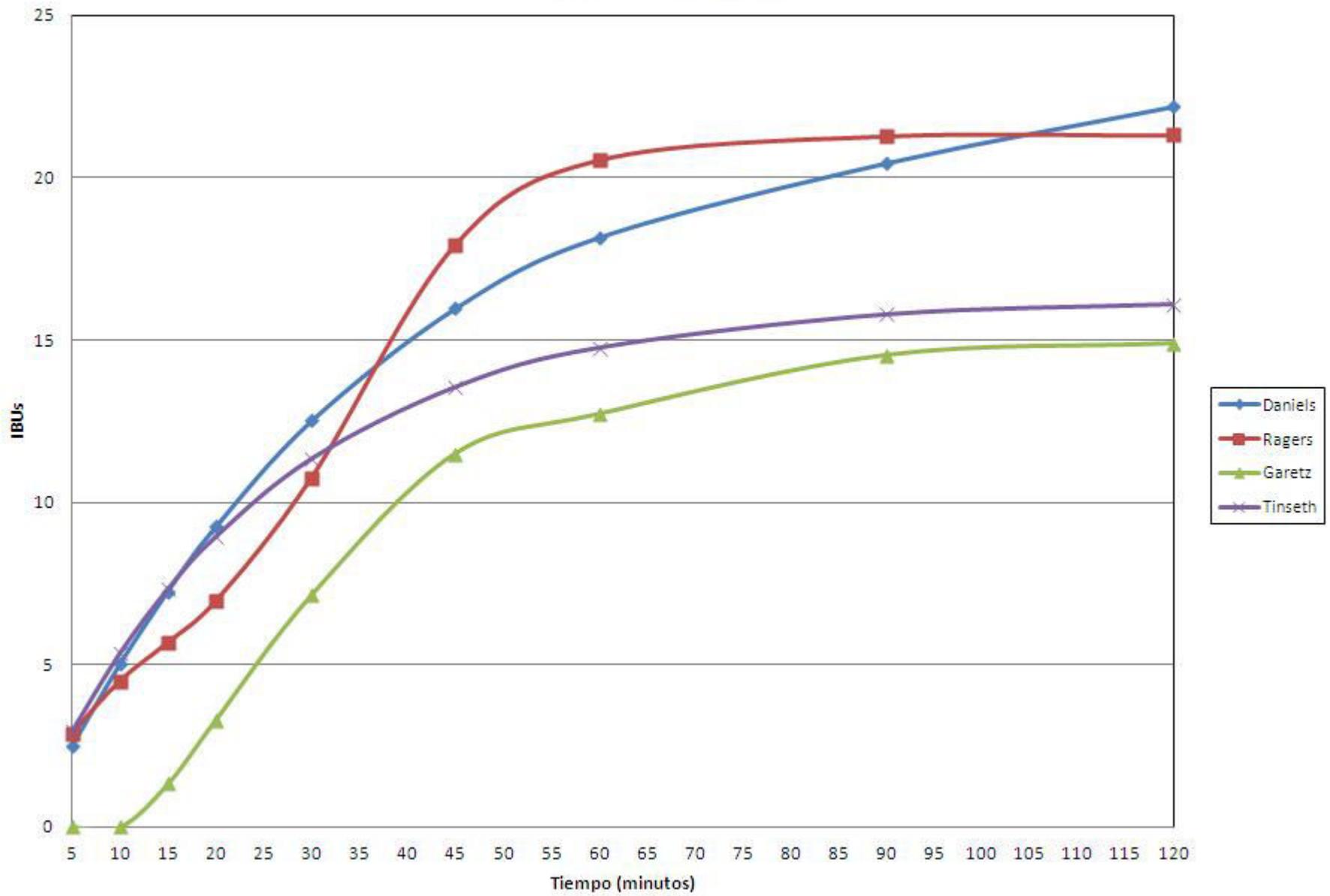
- **$IBU = f(OG)$**

El resto de los parámetros serán constantes.

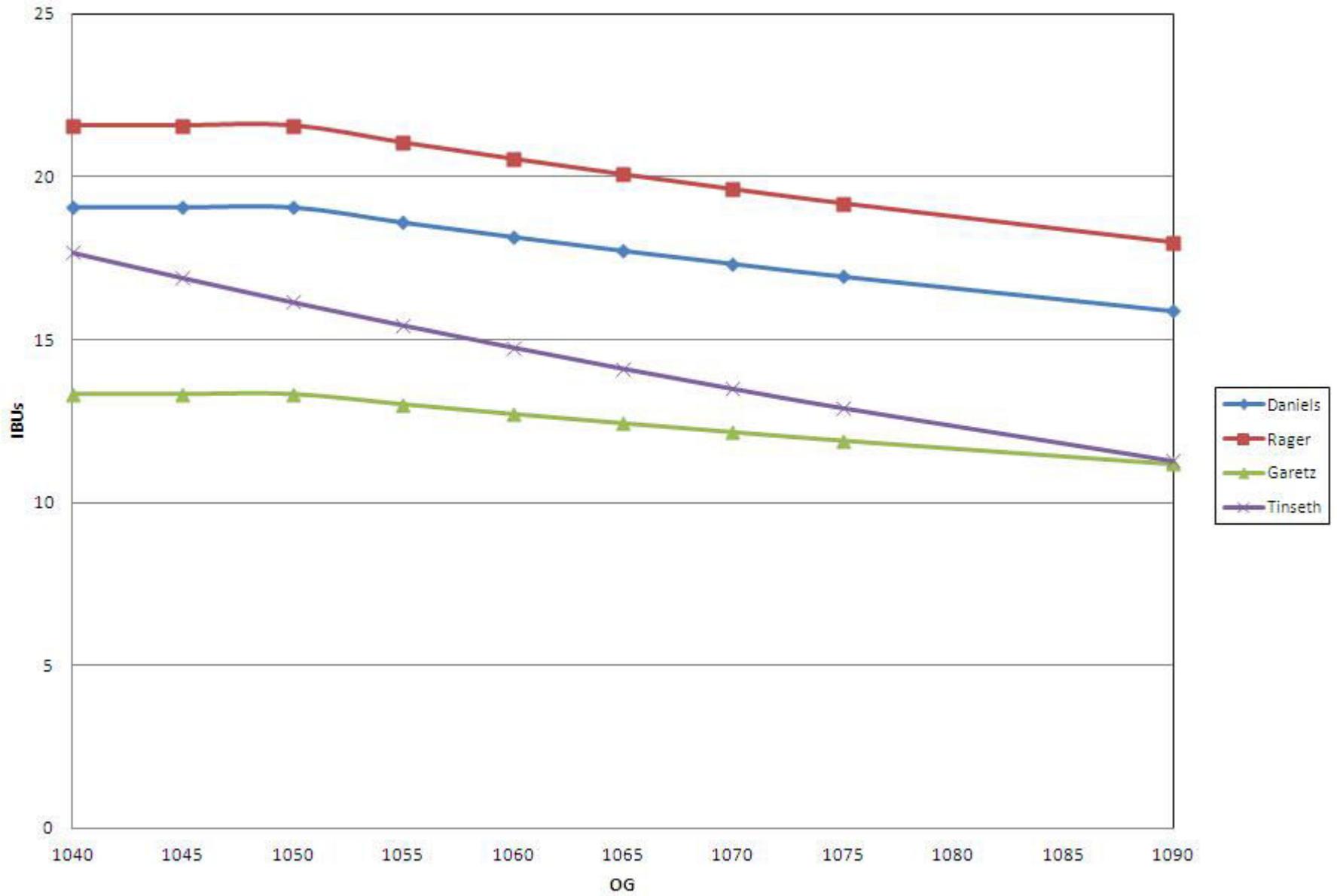
IBUs vs Cant lúpulo



IBUs vs Tiempo



IBUs vs OG



Conclusiones

- Los métodos presentados sirven para estimar los IBUs (responsables del amargor en la cerveza).
- La mayor variación en los métodos viene dada por la utilización “U” => Se presentaron curvas que se ajustan a su comportamiento; observación respecto a Pellet vs Flor.
- Del más conservador al más optimista: Garetz – Tinseth – Daniels – Rager.

Conclusiones

- **Comportamiento función de cálculo IBUs:**
 - **IBU = f(W):** Lineal de pendiente positiva.
 - **IBU = f(t):** Crecimiento asintótico.
 - **IBU = f(OG):** Lineal de pendiente negativa para G_{boil} mayor a 1050 (salvo para Tinseth).
- **Lo importante:** estimar IBUs usando siempre el mismo método para minimizar los errores y obtener resultados equivalentes.

Algunos links interesantes...

<http://realbeer.com/hops/FAQ.html#units>

<http://www.backyardbrewers.com/?p=39>

<https://www.homebrewersassociation.org/attachments/0000/2501/IBUs.pdf>

Gracias!

