

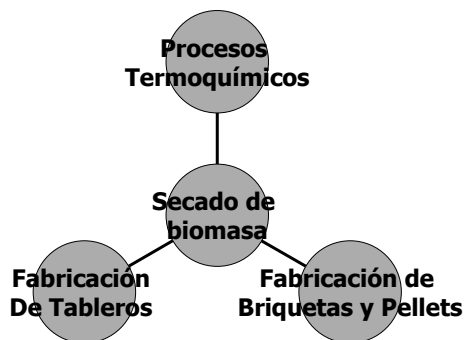
***INTERNATIONAL WORKSHOP ON BIOENERGY FOR A
SUSTAINABLE DEVELOPMENT***

**CARACTERIZACION DE PARTICULAS DE
BIOMASA FORESTAL PARA SU SECADO EN LECHO
FLUIDIZADO**

R. Moreno, G. Antolín, A. Reyes y P. Alvarez

**Universidad Austral de Chile
Universidad de Valladolid de España
Universidad de Santiago de Chile
Noviembre 2004**

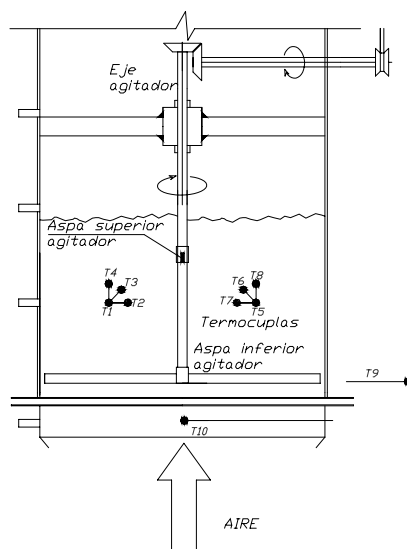
INTRODUCCIÓN



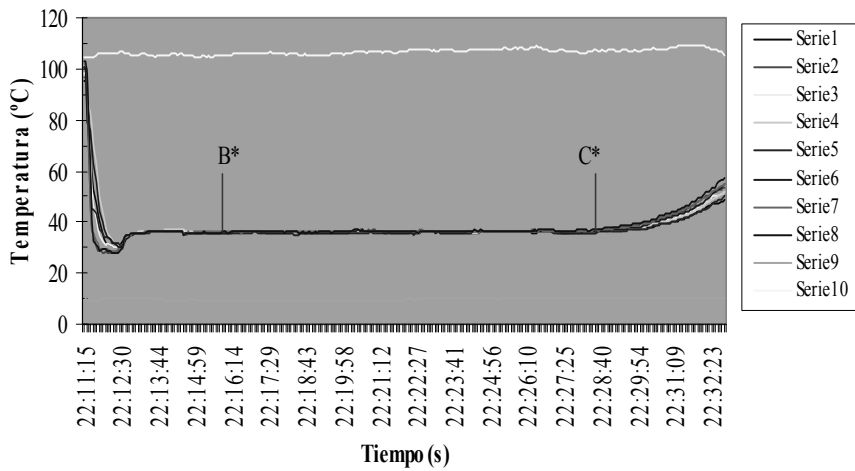
SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO



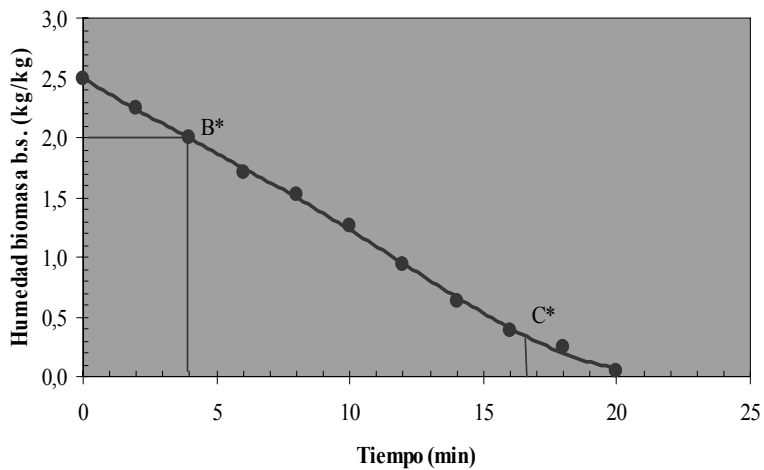
SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO



ESTUDIOS DE CALIDAD DE FLUIDIZACION



CINETICA DE SECADO



OBJETIVOS

- **Caracterizar físicamente las partículas de biomasa.**
- **Determinar la superficie específica de las partículas.**
- **Obtener la curva de humedad de equilibrio de las partículas de biomasa y un modelo que la represente.**
- **Analizar las curvas termogravimétricas de la biomasa.**

Densidad básica de madera de pino

| <i>Muestra según altura N°</i> | <i>Muestra árbol 1 ρ_B, kg/m³</i> | <i>Muestra árbol 2 ρ_B, kg/m³</i> | <i>Muestra árbol 3 ρ_B, kg/m³</i> |
|------------------------------------|--|--|--|
| <i>1</i> | <i>320</i> | <i>338</i> | <i>350</i> |
| <i>2</i> | <i>300</i> | <i>359</i> | <i>320</i> |
| <i>3</i> | <i>316</i> | <i>349</i> | <i>332</i> |

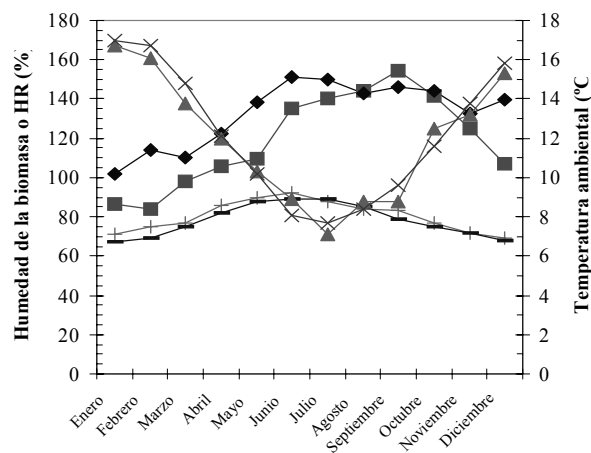
DENSIDAD DE PARTÍCULA

$$\rho_{bio} = \rho_B (1 + w)$$

$$\rho_{bio} = \rho_{bio,0} \left(\frac{1 + w}{1 + k_c w} \right)$$

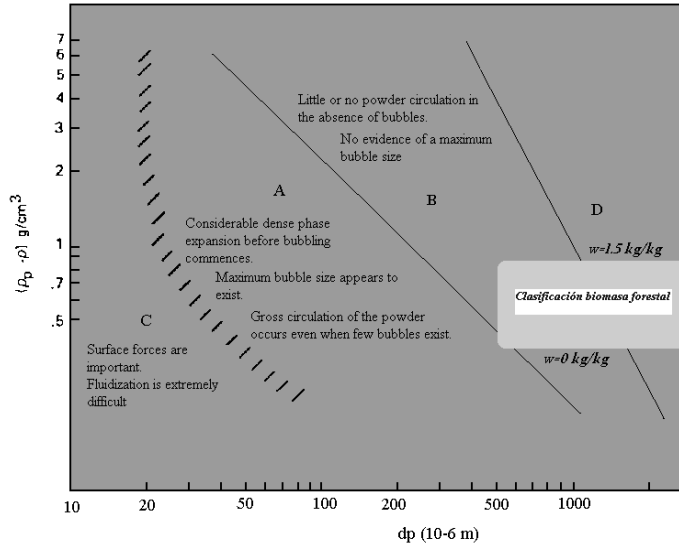
$$\rho_p = 395 \left(\frac{1 + w}{1 + 0.49w} \right) \quad \text{para } w \leq 0.28 \text{ kg/kg}$$

$$\rho_p = 348(1 + w) \quad \text{para } w > 0.28 \text{ kg/kg}$$



Humedad de partículas de biomasa de una fábrica de tableros de partículas de Valdivia, contrastada con la temperatura y humedad relativa del ambiente: ■, humedad del aserrín; ♦, humedad de la viruta; ▲, temperatura ambiente en el año 2000 en Valdivia; ×, media de 41 años de la temperatura ambiente en Valdivia; +, HR del año 2000 en Valdivia; -, media de 41 años de la HR en Valdivia

Criterio Geldart para clasificación de partículas



Transporte de momentum en la interfase fluido-partícula

Ecuación de ERGUN para lechos de partículas

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu_g U}{D_p^2} + 1.75 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{GU}{D_p}$$

Superficie específica de partícula

$$S_p = \frac{6}{\phi D_p}$$

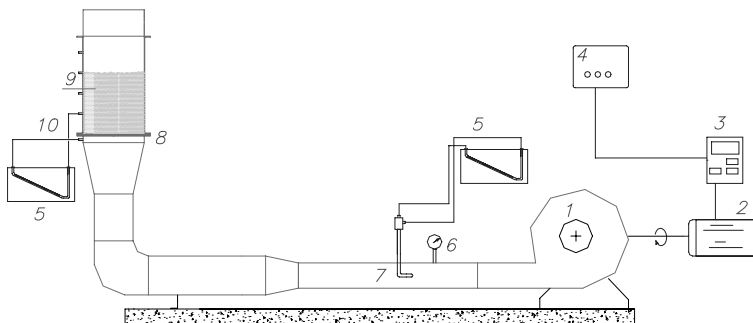
Ecuación de ERGUN para lechos de partículas no esféricas

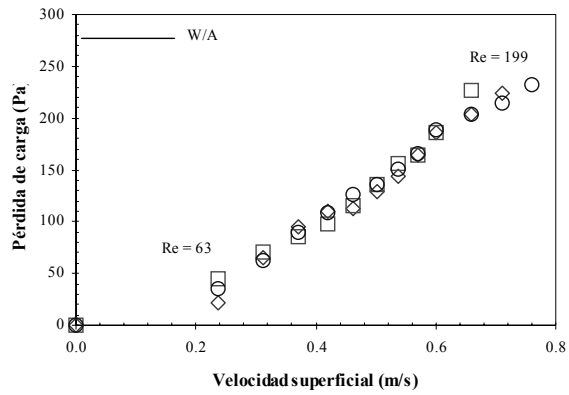
$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu_g U}{(\phi D_p)^2} + 1.75 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{GU}{\phi D_p}$$

Ecuación de ERGUN en términos de la superficie específica para partículas no esféricas

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu_g U}{36} S_p^2 + 1.75 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{GU}{6} S_p$$

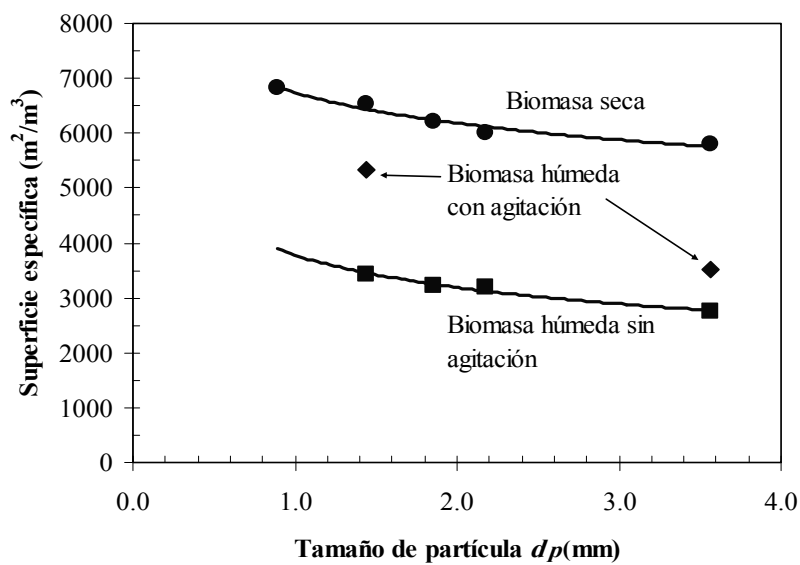
Esquema equipo experimental





Variación de la pérdida de carga en función de la velocidad superficial para un lecho fijo de partículas con $D_p = 3.56 \text{ mm}$: ◇, ensayo 1; □, ensayo 2; ○, ensayo 3

Superficie específica de partícula



Modelos de sorción de humedad

Modelo de Langmuir

$$w_{eq} = w_1 \frac{c\varphi}{1+c\varphi}$$

*Modelo de BET
(Brunauer –
Emmett – Teller)*

$$w_{eq} = w_1 \frac{c\varphi}{1-c\varphi} \frac{1-(n+1)\varphi^n + n\varphi^{n+1}}{1+(c-1)\varphi - c\varphi^{n+1}}$$

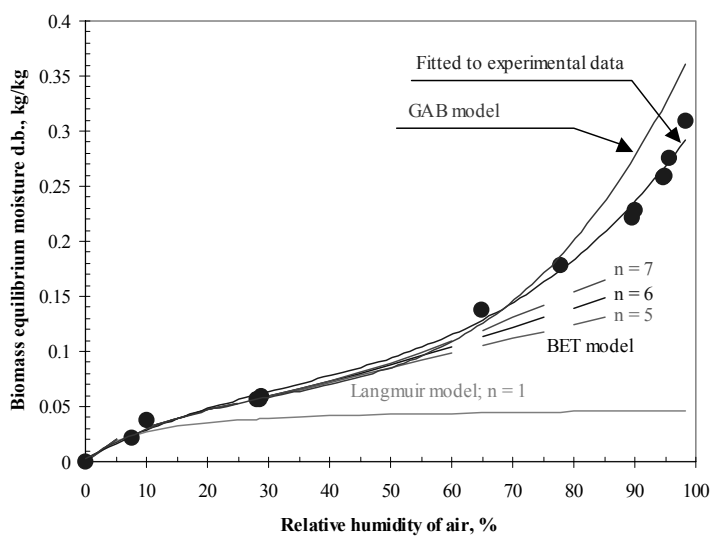
$$w_{eq} = w_1 \frac{c\varphi}{(1-\varphi)(1-\varphi+c\varphi)}$$

*Modelo de GAB
(Guggenheim-
Anderson-Boer)*

$$w_{eq} = w_1 \frac{ck_{GAB} \varphi}{(1-k_{GAB} \varphi)(1-k_{GAB} \varphi + ck_{GAB} \varphi)}$$

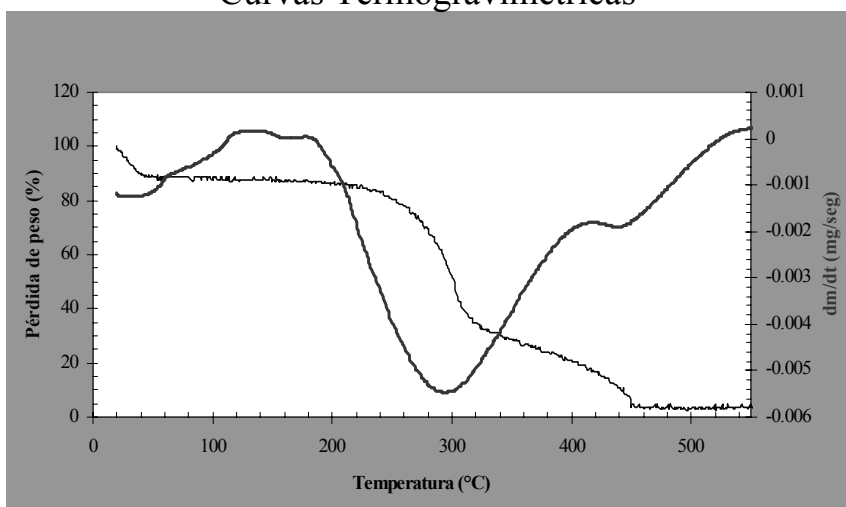
*Equipo NOVASINA empleado para
determinar la isoterma de adsorción
de la biomasa.*





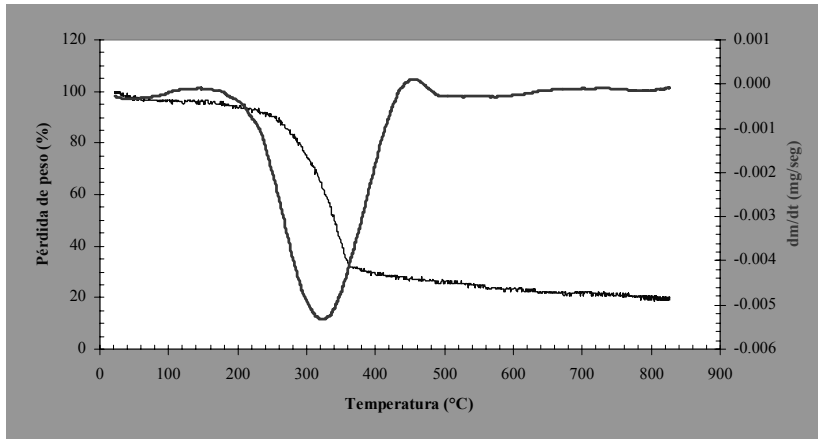
Humedad de equilibrio de las partículas de biomasa a 20 °C y comparada con los modelos de adsorción de Langmuir, de BET con 5, 6 y 7 capas moleculares y de GAB

Curvas Termogravimétricas



Curvas TG (azul) y DTG (roja) obtenidas durante la oxidación de la biomasa, en función de la temperatura

Curvas Termogravimétricas



Curvas TG (azul) y DTG (roja) obtenidas durante la descomposición térmica de la biomasa en atmósfera inerte, en función de la temperatura