

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRARIA
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIERÍA
AGRARIA.**

**Estudio metodológico para la
optimización del secado forzado
de biomasa lignocelulósica, en
secadero de bandejas, en función
de su poder calorífico superior.**

León, Octubre de 2000.

**Autora: Rosario Castro Abengoza.
Directores: Prof Jesús Suárez Moya.
Prof. Francisco Maseda Eimil.**

*A mi padre por todo lo que soy...
a mi madre por todo lo que da...
y a Máximo por todo lo que es...*

"¿Qué es ello absurdo, decís? ¿Y quién sabe qué es lo absurdo? ¡Y aunque lo fuera!
Sólo el que ensaya lo absurdo es capaz de conquistar lo imposible. No hay más que un modo
de dar una vez en el clavo, y es dar ciento en la herradura."

Miguel de Unamuno, 1938.

AGRADECIMIENTOS

Es obligado recoger aquí el agradecimiento de la autora a las personas e instituciones sin cuya colaboración no hubiera sido posible la realización de esta Tesis.

En primer lugar debo manifestar mi más profundo agradecimiento al Prof. Dr. Jesús Suárez Moya, por su inestimable labor de dirección durante la elaboración de la Tesis, por su continua atención, su dedicación y su apoyo a nivel profesional y personal.

Asimismo debo agradecer al Prof. Dr. Francisco Maseda Eimil, no sólo por su eficaz dirección sino también por el entusiasmo que en todo momento me ha prestado, por sus valiosas sugerencias y observaciones.

A la Universidad de León por permitirme ejercer mi actividad profesional, docente e investigadora, en la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, a la que le doy las gracias por haberme facilitado la utilización de las diferentes instalaciones necesarias para la realización de los ensayos.

Agradezco a D. Juan Ignacio Chamorro su constante estímulo, sus sugerencias y la ayuda prestada en diversas fases de realización de la Tesis, a pesar de que existían manuales...

A Dña Antonia Montamarta por su eficacia y dedicación en el trabajo, por orientarme constantemente en la búsqueda bibliográfica así como por el apoyo y estímulo personal que me ha ofrecido en todo momento.

A todas las personas que, directa o indirectamente, me han ayudado durante distintas etapas en el desarrollo de esta Tesis, muy especialmente, a Alejandro cuando el sistema informático se “rebelaba” y a Raquel por ayudarme en todos los trámites administrativos, a Marta, Luis Fernando, Antonio, Fernanda y Carlos.

Al resto de Profesores y personal del Departamento de Ingeniería Agraria, que siempre han estado dispuestos a proporcionarme sugerencias útiles y a prestar su colaboración.

Finalmente agradezco a Máximo por resistir con paciencia todas las horas que le he robado... y sobre todo a mis padres y hermanos, Cayo y Emilio, porque a lo largo de mi vida han sido muchas las personas que en mí confiaron pero no de una forma tan firme y desinteresada.

INDICE GENERAL

Agradecimientos.....	i
Indice general.....	iii
Resumen	ix
Summary	xi
<u>1.- INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>3</u>
<u>1.1- SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....</u>	<u>4</u>
1.1.1.- SITUACIÓN MUNDIAL.....	4
1.1.2.- SITUACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA.	4
1.1.3.- SITUACIÓN EN ESPAÑA.	5
1.1.4.- SITUACIÓN EN CASTILLA Y LEÓN.	9
1.1.5.- SITUACIÓN EN LA PROVINCIA DE LEÓN.....	12
<u>1.2.- SITUACIÓN ACTUAL DEL LÚPULO EN LA PROVINCIA DE LEÓN.....</u>	<u>15</u>
<u>1.3.- ORIGEN DE LA BIOMASA ENERGÉTICA.....</u>	<u>17</u>
1.3.1.- RESIDUOS FORESTALES.....	17
1.3.2.- RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	18
1.3.3.- RESÍDUOS DE INDUSTRIAS FORESTALES.	18
1.3.4.- RESIDUOS DE INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS.	19
1.3.5.- RESIDUOS BIODEGRADABLES.	19
1.3.6.- CULTIVOS ENERGÉTICOS.	19
<u>1.4.- UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA: TECNOLOGÍAS</u>	<u>21</u>
1.4.1.- COMBUSTIÓN.	21
1.4.2.- PIRÓLISIS.	22
1.4.3.- GASIFICACIÓN.	23
1.4.4.- DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	23
1.4.5.- FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.	24
1.4.6.- PROCESOS PREVIOS A LA CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA: SECADO.	24
<u>1.5.- SECADO DEL LÚPULO: PROBLEMÁTICA.....</u>	<u>27</u>

2.- OBJETIVOS.....	31
3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	35
3.1.- SECADO FORZADO.....	35
3.1.1.- MECANISMO DEL SECADO.....	35
EL AGUA EN LOS SÓLIDOS.....	35
DEFINICIÓN DEL PROCESO DE SECADO.....	36
FASES EN EL PROCESO DE SECADO: CINÉTICA DEL SECADO.....	37
EQUILIBRIO DEL SECADO.....	43
3.1.2.- BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL SECADO.....	45
BALANCES DE MATERIA.....	46
BALANCE DE ENERGÍA.....	47
3.1.3.- EL AIRE HÚMEDO.....	49
HUMEDAD DEL AIRE HÚMEDO.....	51
ENTALPÍA DEL AIRE HÚMEDO.....	54
TEMPERATURA DEL AIRE HÚMEDO.....	56
3.1.4.- EL SÓLIDO HÚMEDO.....	60
HUMEDAD DEL SÓLIDO.....	60
CALOR ESPECÍFICO DEL SÓLIDO.....	62
3.1.5.- SECADEROS.....	64
EL LÚPULO Y SU SECADO.....	65
BIOMASA LIGNOCELULÓSICA Y SU SECADO.....	69
3.2.- CARACTERIZACIÓN DE BICOMBUSTIBLES LIGNOCELULÓSICOS.....	73
3.2.1.- PARÁMETROS FÍSICOS.....	73
DENSIDAD APARENTE.....	73
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.....	74
3.2.2.- ANÁLISIS INMEDIATO.....	75
HUMEDAD.....	75
VOLÁTILES.....	75
CENIZAS.....	75
CARBONO FIJO.....	76
3.2.3.- ANÁLISIS ELEMENTAL.....	77
3.2.4.- ANÁLISIS DE COMPONENTES.....	77
3.2.5.- PODER CALORÍFICO.....	78
3.3.- PODER CALORÍFICO.....	79
3.3.1.- CONCEPTO DE PODER CALORÍFICO.....	79
3.3.2.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL VALOR DEL PODER CALORÍFICO DE UN BIOCOMBUSTIBLE.....	85
HUMEDAD.....	86
DENSIDAD.....	86
COMPOSICIÓN ELEMENTAL.....	87
COMPOSICIÓN MOLECULAR.....	87
OTROS.....	88

3.3.3.- MÉTODOS Y FÓRMULAS PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO.....	89
MÉTODO DIRECTO.	89
MÉTODOS INDIRECTOS.	93
Expresiones basadas en la composición elemental.....	93
Expresiones basadas en el análisis inmediato.....	95
Expresiones basadas en el análisis térmico.	95
Expresiones basadas en el análisis de componentes.....	96
3.3.4.- TRABAJOS REALIZADOS SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.	98

4.- MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS..... 105

4.1.- MATERIALES Y EQUIPOS..... 105

4.1.1.- CALORÍMETRO ISOPERIBÓLICO.	105
4.1.2.- ESTUFA.....	108
4.1.3.- SECADERO.....	109
4.1.4.- VARIADOR DE VELOCIDAD.....	115
4.1.5.- ANALIZADOR DE REDES.	117
4.1.6.- SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD).....	121
4.1.7.- CÉLULAS DE CARGA.	124
4.1.8.- BALANZAS.	125
4.1.9.- MATERIALES DE ESTUDIO.	126
RESTOS DE MAÍZ.....	126
RESTOS DE CEBADA.....	127
CULTIVO ENERGÉTICO: CARDO.	128

4.2.- MÉTODO..... 131

4.2.1.- ENSAYOS PREVIOS.	131
ESTANDARIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL CALORÍMETRO.	133
Estandarización.....	133
Calibración.	135
Control Permanente del calorímetro.....	135
EFFECTO DE LAS VARIABLES: PESO DE LA MUESTRA, CONTENIDO DE AZUFRE Y CONTENIDO DE NITRÓGENO SOBRE LA DETERMINACIÓN DE PODERES CALORÍFICOS EN BIOMASAS.	138
4.2.2.- ENSAYOS DEFINITIVOS.	145
A.- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.	146
Recogida de muestras.	146
Acondicionamiento de las muestras.	146
Procedimiento operativo.....	146
B.- SECADO FORZADO.....	149
Parámetros medidos.....	149
Diseño de los ensayos.....	151
Procedimiento operativo.....	154
Recuperación de datos.....	156
Tratamiento de datos y presentación de resultados.	157
C.- COSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO DEL MATERIAL ESTUDIADO.....	166

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	171
5.1.- RESTOS DE MAÍZ.....	171
5.1.1- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.	171
5.1.2.- SECADO FORZADO.	183
I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MATERIA.	185
II.- ESTUDIO DEL SECADO FORZADO: EFECTO DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN.....	187
a.- Efecto de H sobre el descenso de humedad:.....	188
b.- Efecto de las combinaciones (V,H); (T,H) y (t,H) sobre el descenso de humedad:.....	189
c.- Efecto de (V, T y t) sobre el descenso de humedad:	195
5.1.3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO.	203
I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.....	203
II.- ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SECADO FORZADO.....	205
5.2.- RESTOS DE CEBADA.....	221
5.2.1- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.	221
5.2.2.- SECADO FORZADO.	225
I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MATERIA.....	227
II.- ESTUDIO DEL SECADO FORZADO: EFECTO DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN.....	229
a.- Efecto de H sobre el descenso de humedad:.....	230
b.- Efecto de (V, T y t) sobre el descenso de humedad:	231
5.2.3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO.	237
I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.....	237
II.- ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SECADO FORZADO.....	239
5.3.- CYNARA.	255
5.3.1- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.	255
5.3.2.- SECADO FORZADO.	269
I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MATERIA.....	271
II.- ESTUDIO DEL SECADO FORZADO: EFECTO DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN.....	273
a.- Efecto de H sobre el descenso de humedad:.....	274
b.- Efecto de las combinaciones (V,H); (T,H) y (t,H) sobre el descenso de humedad:.....	275
c.- Efecto de (V, T y t) sobre el descenso de humedad:	281
5.3.3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO.	287
I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.....	287
II.- ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SECADO FORZADO.....	289
6.- CONCLUSIONES.....	307
7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	313

ANEXO I.- Protocolos de estandarización, calibración y verificación del calorímetro.

ANEXO II.- Tablas para la obtención de la humedad del aire de secado y balances de agua y energía.

ANEXO III.- Variación de la humedad durante el secado.

ANEXO IV.- Aporte energético e incremento del poder calorífico durante el secado.

RESUMEN

La leña y los residuos agrícolas y forestales (paja y restos de podas principalmente) han sido una fuente tradicional de energía hasta la utilización masiva de los combustibles fósiles.

La posibilidad de que la agricultura produzca energía de forma sistemática, bien a base de los residuos propios que genera con los típicos productos agrarios utilizados en la alimentación humana y animal, o bien a base de cultivos especiales (cultivos energéticos) no se empezó a considerar hasta la primera crisis energética de 1973.

La utilización de esta biomasa para la producción de energía supone unas ventajas importantes a tener en cuenta:

- Diversificación respecto del aprovisionamiento energético.
- Utilización de una fuente de energía nacional de tipo renovable.
- Alternativa real a los cultivos agrícolas tradicionales que producen excedentes de alimentos.
- Beneficio para el medioambiente, ya que el empleo de este tipo de energía no contribuye al incremento de CO₂ en la atmósfera (como ocurre con los combustibles fósiles).

Sin embargo, la utilización de la biomasa lignocelulósica para la producción de energía tiene que cumplir una condición: bajos costes en la producción, en la recolección, en el almacenamiento y en el procesado previo a la transformación en combustible fácilmente utilizable.

Si tenemos en cuenta esta condición se puede intuir que una elevada humedad en los restos plantea problemas como el encarecimiento del transporte, la dificultad en la transformación en combustibles de calidad y la reducción de los rendimientos en procesos de conversión termoquímica ya que, el máximo poder calorífico que puede proporcionar la biomasa es cuando su contenido en humedad es nulo.

Esto hace que un proceso de secado forzado sea aconsejable cuando los niveles de humedad son elevados para así conseguir un incremento en el valor del poder calorífico, sin embargo, esta operación de secado puede suponer un coste energético mayor que el posible incremento experimentado por el poder calorífico.

Por otra parte, prácticamente el 100% de la superficie dedicada al cultivo del lúpulo en España se concentra en la provincia de León. El proceso más importante del postcosechado de lúpulo es, sin duda, el secado.

Se sabe que casi el 82% de los cultivadores de lúpulo de León tienen secadero propio siendo todos del tipo denominado “de bandejas”.

A pesar de la fuerte tradición que existe en la realización de este proceso de secado se ha observado que éste se efectúa incorrectamente por varias razones:

- La media de edad de los cultivadores de lúpulo es de 51 años.
- El 66% de los secaderos tienen más de 15 años.
- La tecnología es muy elemental: el 75% de los secaderos tienen un sistema de transporte del lúpulo verde que consiste en acarreo manual en sacos, todavía hoy hay un 2% de cultivadores que no controlan la temperatura de secado, es decir, no poseen ni termómetro ni termostato.

Por todo lo expuesto anteriormente es por lo que se planteó esta Tesis en la que se estudió:

- El poder calorífico de restos agrícolas (restos de maíz y restos de cebada) y de un cultivo energético (*Cynara cardunculus*) de la provincia de León.
- La posibilidad de secado de este tipo de biomasa con un secadero de bandejas, típico para el secado del lúpulo pero no para el secado de biomasa.

Se demostró que esta operación de secado con este tipo de secadero puede suponer, en determinadas condiciones, un coste energético menor que el incremento en el poder calorífico.

Por lo tanto la utilización de este tipo de secaderos, existentes en abundancia en la zona, conllevaría:

- La mejora de la calidad en el uso de biomasa con fines energéticos.
- Una utilización permanente de estos secaderos, que actualmente funcionan tan sólo los 15 días al año que dura la campaña de secado de lúpulo, con lo que la modernización y mejora tecnológica de los mismos estaría totalmente justificada.

SUMMARY

The fuelwood and the agricultural and forest residues (straw and pruning remains mainly) have been a traditional source of energy until the massive utilization of the fossil fuels.

The possibility of the fact that the agriculture produces in a way systematical energy, well of the own residues that generates with the typical agrarian products used in the human and animal nourishment, or well to special cultivation (energetic cultivation) was not begun to consider until the first energetic crisis of 1973.

The utilization of this biomass for energy production supposes some important advantages to take into account:

- Respect diversification of the energetic provisioning.
- Utilization of a source of national energy of renewable type.
- Real alternative to the traditional agricultural cultivation that produce food surpluses.
- Benefit for the environment, since the employment of this type of energy does not contribute to the increase of CO₂ in the atmosphere (as occurs with the fossil fuels).

However, the utilization of lignocellulosic biomass for energy production must fulfil a condition: low costs in the production, in the harvesting, in the storage and in the previous proceeding to the transformation in combustible easily available.

If take into account this condition can be intuited that a high moisture in the remains states problems as increase in price of the transportation, the difficulty in the transformation in quality combustible and the reduction of the profits in process of thermochemical conversion since, the maximum calorific value that it can provide the biomass is when its moisture contained is null.

This causes that a process of forced drying will be advisable when the moisture levels are increased for to obtain an increase in the calorific value, however, this operation of drying can suppose an energetic cost greater than the possible increase experimented by the calorific value.

On the other hand, practically 100% of the surface devoted to the cultivation of the hop in Spain is concentrated in León province. The most important process of hop postharvesting is, without doubt, the drying.

It is known that almost 82% of hop cultivators of León have own drying room being all of them of type "of trays".

In spite of the strong tradition that exists in the accomplishment of this process of drying it has been observed that this is effected incorrectly by several reasons:

- The age average of the hop cultivators is of 51 years old.
- 66% of the drying rooms have more than 15 years.
- The technology is very elemental: 75% of the drying rooms have a manual transportation system of the green hop with sacks, there is a 2% of cultivators that they do not control the temperature of drying, that is to say, they do not possess neither thermometer nor thermostat.

All over what is exposed previously it is therefore it was outlined this Thesis in the one which was studied:

- The calorific value of agricultural remains (corn and barley remains) and of energetic cultivation (*Cynara cardunculus*) of León province.
- The possibility to dry this type of biomass with a trays drying room, typical for hop drying but not for biomass drying.

It was demonstrated that this operation of drying with this type of drying room can suppose, in given conditions, an energetic cost less than the increase in the calorific value.

Therefore the utilization of this type of drying rooms, existing in abundance in the zone, would cause:

- The improvement of the quality in the use of biomass with energetic end.
- A permanent utilization of these drying rooms, that currently operate so only 15 days per year during the campaign of hop drying, with what the modernization and technological improvement would be totally justified.

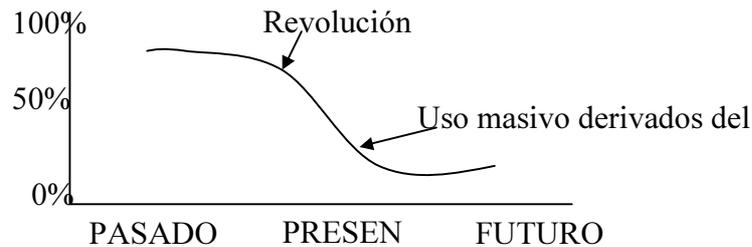
1.- Introducción.

|

|

1.- INTRODUCCIÓN

Durante siglos la biomasa fue la más importante fuente de energía primaria (leña), actualmente, su utilización tiene un reparto muy desigual: en los países industrializados hay un aprovechamiento que ronda el 3 o el 4%, sin embargo en los países en desarrollo la biomasa vegetal sigue siendo la principal fuente de energía primaria.



De una forma genérica, por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma (IDAE, 1993).

El nexo común de toda la materia considerada como biomasa es su origen en la fotosíntesis por lo que se presentan de forma periódica y no limitada en el tiempo, es decir de forma renovable.

La energía solar se transforma en energía química mediante el proceso de fotosíntesis y se acumula dando lugar a elementos utilizables directamente o como materia prima, así como a subproductos que son los que tienen posibilidad de un aprovechamiento energético (IDAE, 1993).

Por lo tanto la biomasa energética incluye los materiales de origen biológico que no son empleados con fines alimenticios o industriales, son excluidos de este concepto: los productos agrarios utilizados en alimentación humana o animal y los combustibles fósiles.

Se estima que la producción mundial de biomasa vegetal es de $1,7 \cdot 10^{11}$ toneladas al año, que supondría una producción de energía de $3 \cdot 10^{21}$ J, esta cantidad es aproximadamente 10 veces el consumo mundial de energía en el año 1993 ($3,27 \cdot 10^{20}$ J).

1.1- SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

1.1.1.- SITUACIÓN MUNDIAL.

Se presenta a continuación una tabla donde se refleja la previsión del potencial mundial de uso de todas las energías renovables:

Tabla 1.- Previsión de potencial mundial de uso de energías renovables.

ENERGÍAS RENOVABLES	POTENCIAL (Mtep)
BIOMASA	3480-3600
EÓLICA	240
HIDRÁULICA	2160
GEOTÉRMICA	240-280
SOLAR	1080-2112
Total	7200-8392

(Fuente: Junta de Castilla y León y EREN)

1.1.2.- SITUACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA.

La biomasa es la energía, dentro de todas las renovables, más utilizada en la Unión europea con un nivel de participación del 55%, con un uso doméstico básicamente.

El país con más producción de biomasa es Francia con 9 Mtep, de los cuales el 80% tienen un uso doméstico. Le sigue Suecia con 6,5 Mtep y Finlandia con 5 Mtep, en estos dos últimos países la biomasa tiene un uso industrial principalmente (50%), ya que en estos países cobran gran importancia la industria maderera y del papel.

Además estos dos últimos países están mucho menos poblados, lo que conlleva que el uso de biomasa suponga un 38% de la energía primaria para Finlandia y un 21 % para Suecia, frente a un 7,7 % en Francia.

1.1.3.- SITUACIÓN EN ESPAÑA.

El consumo de energía primaria en España durante los años 1990 y posteriormente en el 2000 es el siguiente:

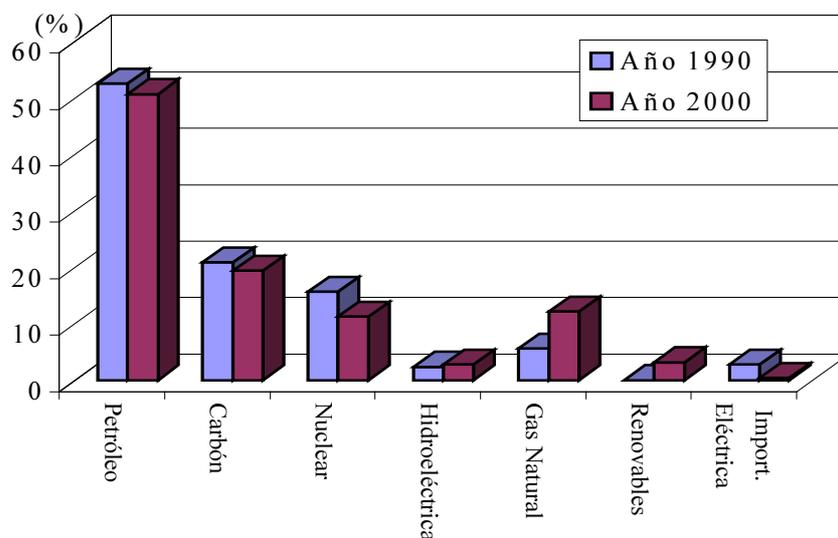


Figura 1.- Consumo de Energía Primaria en España: Años 1990 y 2000.

A continuación se presenta un gráfico donde se refleja el porcentaje de participación en la producción de energía de las distintas energías renovables en España:

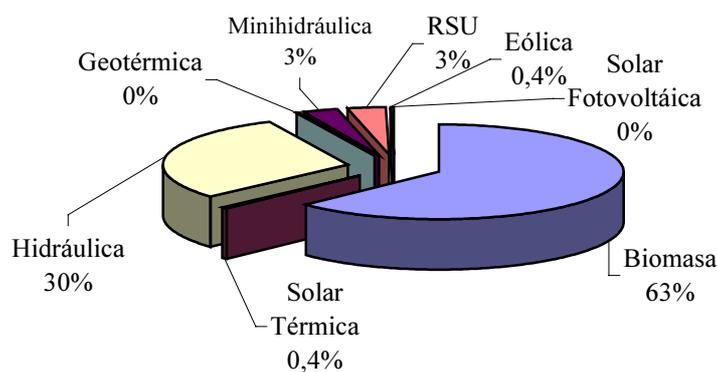


Figura 2.- Porcentaje de participación de las distintas ER en la producción de energía en España (1995) (Fuente: MINER-IDAE).

Como se puede observar en el gráfico anterior en España se producen 3,8 Mtep con biomasa con un uso doméstico principalmente.

Es difícil cuantificar la importancia energética de la biomasa debido a que mucha de ella se utiliza para el autoconsumo o se comercializa por canales diferentes a otro tipo de energías más convencionales. Sin embargo el IDAE ha elaborado un estudio actualizado con informaciones de la base de datos CADER que se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.- Cuantificación de la importancia energética de la biomasa en España (año 1996).

Tipo de biomasa	Recursos potenciales ktep · año⁻¹
Leñas tradicionales	-
Residuos forestales y agrícolas	13800
Residuos de industrias forestales y agrícolas	2200
Residuos biodegradables(1)	1600
Cultivos energéticos (2)	19600
Total	37200

(1) Residuos agroganaderos y lodos de aguas residuales urbanas.

(2) Cardo o chopo en terrenos en barbecho y el 5% de tierras retiradas cultivadas con cereales (para bioalcohol) y con girasol (para biodiesel).

De esta energía renovable potencial sólo se consumen según sectores:

Tabla 3.- Utilización de la energía de la biomasa según sectores (Año 1996).

Sector	Energía de la biomasa consumida tep	Energía de la biomasa consumida %
Doméstico	1991306	55,35
Industrial	1571667	43,69
Otros	34476	0,96
Total	3597449	100

El consumo de biomasa según el tipo de combustibles (año 1996) es el siguiente:

Tabla 4.- Consumo de biomasa según el tipo de combustible.

Tipo de combustible	Consumo tep	consumo %
Leñas y astillas	1791529,60	49,8
Orujo de aceituna	302185,72	8,4
Otros	64754,08	1,8
Serrines y virutas	428096,43	11,9
Biogás	75546,43	2,1
Cáscaras de frutos secos	43169,39	1,2
Cortezas	248223,98	6,9
Carbón vegetal	111520,92	3,1
Lejías negras (inds. papel)	532422,45	14,8
Total	3597449,00	100

El consumo de biomasa por Comunidades Autónomas es el siguiente:

Tabla 5.- Consumo de energía de la biomasa por Comunidades Autónomas (Año 1996).

Comunidad Autónoma	Consumo de energía de biomasa tep	Consumo de energía de biomasa %
Andalucía	765428	21,28
Galicia	645838	17,95
Castilla y León	413562	11,50
Cataluña	288036	8,01
Asturias	227386	6,32
País vasco	198110	5,51
Valencia	183121	5,09
Aragón	176893	4,92
Castilla - La Mancha	171020	4,75
Navarra	112957	3,14
Extremadura	110452	3,07
Madrid	103785	2,88
Murcia	64773	1,80
Baleares	49901	1,39
Cantabria	48789	1,36
La Rioja	34790	0,97
Canarias	2608	0,07
Total	3597449	100

La producción de energía eléctrica a partir de biomasa por Comunidades Autónomas es la siguiente:

Tabla 6.- Producción de energía eléctrica a partir de biomasa por Comunidades Autónomas (Año 1996).

Comunidad Autónoma	Energía Eléctrica producida a partir de biomasa (MWh)	Energía Eléctrica producida a partir de biomasa (%)
Andalucía	167724	20,29
Galicia	107737	13,03
País vasco	106335	12,86
La Rioja	99672	12,06
Aragón	81926	9,91
Madrid	79079	9,57
Asturias	75714	9,16
Navarra	57629	6,97
Castilla y León	40810	4,94
Cantabria	3283	0,40
Castilla La Mancha	3137	0,38
Cataluña	2220	0,27
Valencia	1434	0,17
Total	826700	100

Durante 1996 se pusieron en explotación 22 proyectos de los cuales son de aprovechamiento de biogás, 4, de combustión de lodos de depuradora, 2 (uno de aguas residuales industriales y otro de aguas residuales urbanas), de industrias de la madera, 11, de industrias alimentarias, 2, de secado de productos agrícolas, 1, de invernaderos, 1 y de industrias de pasta de papel, 1.

Tabla 7.- Proyectos de biomasa por Comunidades Autónomas (Año 1996).

Comunidad Autónoma	nº de proyectos de aprovechamiento de biomasa
Andalucía	2
Aragón	2
Castilla y León	3
Galicia	4
Navarra	1
País Vasco	3
Valencia	7
Total	22

La realización de estos proyectos ha supuesto una diversificación de más de 29700 tep/año con unas inversiones asociadas de 2360 millones de pts. Algunos ejemplos de estos proyectos llevados a cabo son:

Tabla 8.- Ejemplos de proyectos llevados a cabo en provincias españolas.

Título	Combustible	Fluido térmico	Potencia térmica instalada (kcal · h ⁻¹)	Consumo de biomasa (tep · año ⁻¹)
Caldera para utilización de subproductos (Palencia): fabrica de aguardiente	orujillo de uva	vapor saturado	-	106
Recuperación de residuos para energía calorífica: (Soria): fabricación de productos de madera.	Serrines, virutas	Agua caliente	600000	74
Caldera alimentada con polvo de lijado (Zaragoza): transformación de la madera	Polvo de lijado	Agua caliente	600000	20
Secadero alimentado con combustible sólido (Huesca): secado y comercialización de cereales.	Cáscara de almendra, avellana, orujillo, zuros de maíz	-	3500000	980
Caldera de aceite térmico en industria maderera (Valencia): elaboración de chapas	Astillas de madera	Aceite térmico	300000	200
Utilización de biomasa en la fabricación de envases (Granada): fábrica de envases de madera.	Recortes y astillas de madera	Aceite térmico	1500000	1584

1.1.4.- SITUACIÓN EN CASTILLA Y LEÓN.

Según el informe de actividades del año 1999, el Ente Regional de la Energía (EREN) en Castilla y León se han desarrollado una serie de actividades durante este año sobre el ahorro y eficiencia energética, así como sobre la sustitución y la diversificación de la energía.

En el campo de la diversificación destacan las siguientes actuaciones:

1. Estudios y análisis para el desarrollo de “Cereales con fines energéticos para la producción de bioetanol”. Estos estudios incluyen las posibilidades de producción de bioetanol a partir de patata, remolacha azucarera y otros cultivos alternativos producidos en Castilla y León.
2. Estudios y análisis de las posibilidades de “Producción de biogasóleo a partir de semillas oleaginosas”. En este proyecto, el biogasóleo producido a partir de semillas oleaginosas procedentes de cultivos de Castilla y León se destinaría como combustible de motores diesel.
3. Estudios de las posibilidades de la “Producción de biogasóleo a partir de aceites vegetales usados”, que incluyen la viabilidad de la producción de biogasóleo a partir de aceites en fritura y otras grasas, la organización del sistema de recogida, estudio del

mercado del producto y subproducto generado, estudio de la tecnología de producción y el análisis de viabilidad económica de las tecnologías a aplicar en el proceso de transformación.

4. El aumento significativo de la utilización de la cogeneración en los distintos sectores queda reflejado en los 43 proyectos presentados en 1999 para la instalación de nuevas plantas y por tanto optar al “Reconocimiento de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial”, habiendo sido informadas por el EREN conforme al Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre sobre “*producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos o cogeneración*”. La puesta en marcha en un futuro de estas instalaciones, 11 más de las que solicitaron al Régimen Especial en 1998 implicaría una potencia total instalada de 305,5 MW, en industrias de distintos sectores en toda la Comunidad Autónoma:

Tabla 9.- Solicitudes de instalaciones de cogeneración según provincias (Año 1998 y 1999).

PROVINCIA	Nº INSTALACIONES	POTENCIA (MW)
Burgos	8	37,169
León	5	15,797
Palencia	4	27,546
Salamanca	3	32,998
Segovia	17	153,293
Valladolid	2	9,12
Zamora	4	29,559
TOTAL	43	305,482

Tabla 10.- Solicitudes de instalaciones de cogeneración según actividades (Año 1998 y 1999).

SECTOR ACTIVIDAD	Nº INSTALACIONES	POTENCIA (MW)
Administración	1	5,046
Agroganadero	25	227,774
Alimentación	1	0,922
Automoción	1	10,000
Cárnico	1	4,750
Cerámico	4	7,893
Harinas-Piensos	2	7,225
Lácteo-Quesero	1	2,660
Maderero	1	21,990
Minerales	4	8,350
Papelero	1	3,787
Otros	1	5,085
TOTAL	43	305,482

5. El EREN ha realizado también estudios de viabilidad para la instalación de nuevas plantas, auditorías en plantas de cogeneración ya existentes para su optimización y ha participado como promotor en algunas especialmente significativas, destacando entre éstas las ya existentes de microgeneración que se ejecutarán en el Hospital Monte San Isidro y Hospital Santa Isabel (León).

6. Estudios y análisis de las “tecnologías más adecuadas para el tratamiento de purines y seguimiento, desarrollo y ordenación de los sistemas de evacuación de energía eléctrica excedentaria de las plantas de cogeneración que existen en la Comunidad Autónoma para el tratamiento de residuos ganaderos”.

7. Estudios técnicos para la instalación de plantas de tratamiento de purines.

8. Estudio sobre la viabilidad de los procesos de microgeneración.

9. Estudio de viabilidad de instalación de una planta de microgeneración en una planta de tratamiento integral de alpechines.

10. Estudios y análisis de viabilidad técnico-económica de posibles sistemas a instalar, con incidencia energética, en los tratamientos de residuos de ganado vacuno y de granjas avícolas.

Tabla 11.- Estado actual de proyectos en ejecución y/o tramitación en Castilla y León (Año 1999).

Actividad/sector	Tipo de proyecto	Estado del proyecto	Inversión (Mpts)
Alimentación	Cogeneración	en ejecución	400
Hidroeléctrico	Minihidráulica	en ejecución	30
Hidroeléctrico	Minihidráulica	en ejecución	66
Hotelero	Solar térmica	en ejecución	4,4
Hotelero	Solar térmica	en ejecución	6,2
Hotelero	Solar térmica	en tramitación	3,5
Hotelero	Solar térmica	en tramitación	4,2
Hidroeléctrico	Minihidráulica	en tramitación	25
Agrícola	Cogeneración	en tramitación	100
Metalúrgico	Cogeneración	en tramitación	100
Quesero-lácteo	Cogeneración	en tramitación	120
Recuperac. materiales	Cogeneración	en tramitación	700
Otros	Varios	en tramitación	25
Otros	Varios	en negociación	400
TOTAL			1984,3 Mpts

Los Proyectos para el tratamiento de biomasa, cultivos energéticos y residuos que el EREN tiene previstos para el año 2000 son:

Plan forestal de Castilla y León.

Plantas de generación eléctrica (biomasa forestal y cultivos).

Tratamiento de purines.

Cultivos energéticos (girasol).

1.1.5.- SITUACIÓN EN LA PROVINCIA DE LEÓN.

Los acuerdos de la Política Agraria Comunitaria Europea (PAC) han motivado que , en León, se tenga que llevar a cabo una disminución de las tierras de cultivo debido a los excedentes de productos alimenticios que se obtienen en Europa.

Esta disminución ha producido una pérdida de rentabilidad de las zonas rurales provocando la emigración de las gentes hacia las zonas urbanas más desarrolladas y la aparición de pueblos abandonados o con una mínima población de edad avanzada.

Para evitar estas situaciones es imprescindible establecer nuevos cultivos, alternativos a los ya existentes, que sean capaces de dar producciones en terrenos desocupados, por exigencias de la PAC, y así poder aumentar el grado de ocupación proporcionando trabajo para las personas. Estos cultivos deben producir materias primas rentables y viables de poder ser transformados “in situ” para conseguir una industrialización de estos lugares.

Con estos objetivos y desde el Departamento de Ingeniería Agraria de la Universidad de León se está estudiando la posibilidad de utilizar los restos de los cultivos tradicionales y ocupar las parcelas de barbecho, tanto obligatorio como voluntario, con cultivos energéticos para la obtención de biomasa la cual se podría utilizar para obtener biocombustibles y energía eléctrica.

Se estudiaron 10 comarcas en las que era posible la obtención de biomasa lignocelulósica, bien de origen forestal o bien procedente de cultivos herbáceos, para obtener energía.

Las comarcas en las que predomina la biomasa de procedencia forestal son:

El Bierzo, La Cabrera, La Montaña de Luna y La Montaña de Riaño

Las comarcas con predominio de cultivos herbáceos son:

Astorga, La Bañeza, Esla-Campos, El Páramo, Sahagún y Tierras de León.

En estas últimas además de aprovechar los restos de cultivos también se pueden utilizar las tierras de barbechos, obligatorios y voluntarios, que son factibles de ser utilizadas para la plantación de cultivos energéticos.

Se evaluó la producción de biomasa lignocelulósica procedente de restos de cultivos herbáceos haciendo un seguimiento a lo largo de 11 años de cada una de las comarcas seleccionadas. El tipo de cultivos estudiados son los tradicionales de esta provincia, concretamente cereales.

Los datos observados en estos años demuestran que se han estabilizado las superficies cultivadas, una vez que ya han sido retiradas las correspondientes a barbechos, según las imposiciones de la PAC.

El cálculo de las disponibilidades anuales de residuos de las cosechas, fundamentalmente paja, que podría suministrar esta provincia se ha realizado teniendo en cuenta que el rendimiento de paja de cereales es de $1.600 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, dato suministrado por el Servicio de Estadística de la Junta de Castilla y León.

Tabla 12.- Cantidad de paja (t) obtenida por comarcas entre los años 1987 y 1997.

Comarcas	Años										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Astorga	19520	18112	16243	14750	16016	17851	16328	14597	14525	15718	16670
La Bañeza	18893	19237	18766	18469	16794	16910	24034	17245	16021	20085	17981
El Bierzo	10498	10083	3342,4	4070,4	3387,2	4828,8	3563,2	3448	3192	3195,2	3417,6
La Cabrera	8454,4	8192	2904	6027,2	5542,4	6161,6	3974,4	3883,2	3272	3116,8	3064
Esla	84131	75053	86741	89365	90891	94528	90224	76933	91563	82701	87091
M. Luna	1774,4	1001,6	798,4	1153,6	1155,2	1305,6	1204,8	1206,4	899,2	1129,6	955,2
Páramo	33955	42354	58862	47339	49778	52387	49819	50798	52558	56546	59574
M. Riaño	1254,4	1395,2	1388,8	998,4	998,4	1012,8	974,4	1020,8	1617,6	1302,4	1388,8
Sahagún	57034	52834	64202	68862	68456	82850	63946	50515	78008	60211	64024
T. León	27493	26725	27790	27949	27038	25123	28304	23410	24686	28381	27555
TOTAL Producción de paja (t)	263006	254986	281038	278984	280056	302958	282371	243056	286342	272386	281722

Además se debe tener en cuenta que estas comarcas son las que disponen de mayor superficie de barbechos, tanto obligatorios como voluntarios, con posibilidad de poder implantar cultivos energéticos (*Cynara cardunculus*) para producción de energía eléctrica.

1.2.- SITUACIÓN ACTUAL DEL LÚPULO EN LA PROVINCIA DE LEÓN.

La superficie actual en cultivo de lúpulo en la provincia de León es de 800 ha concentrándose en esta provincia prácticamente (salvo 8 ha en la Rioja) el 100% de la producción de este cultivo en España.

En 1998 como parte de un proyecto denominado “Estudio sobre el secado del lúpulo” y con el fin de caracterizar los secaderos de la provincia se realizó una encuesta entre 564 cultivadores de lúpulo, cuyo resultados (presentados a continuación) indican una tecnología muy elemental no siendo, en general, las condiciones de secado las más adecuadas.

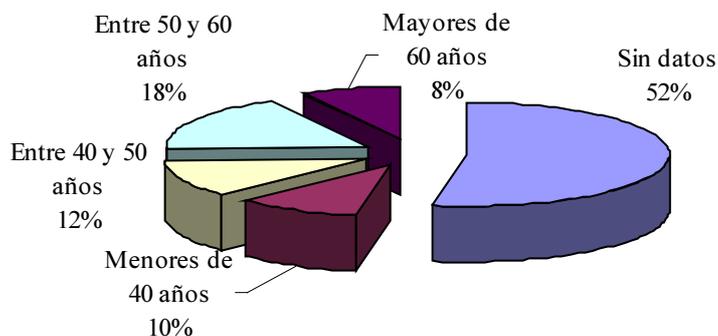


Figura 3.- Distribución de cultivadores de lúpulo por edad.

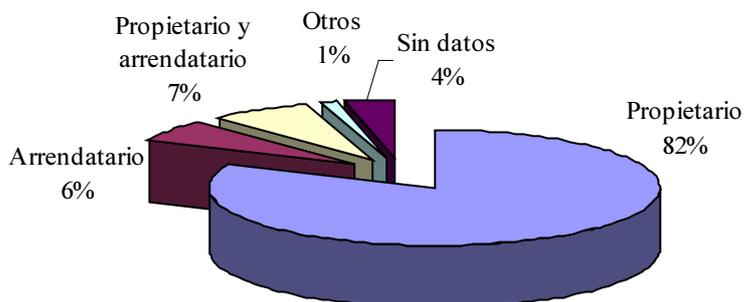


Figura 4.- Distribución de cultivadores de lúpulo por régimen de tenencia.

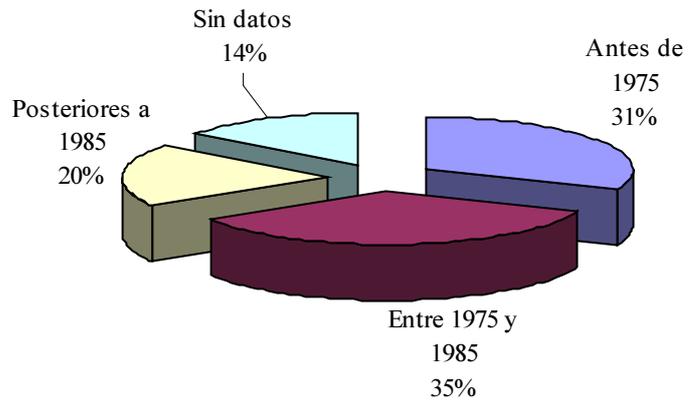
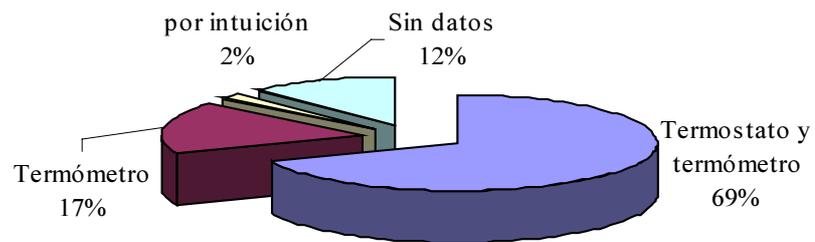


Figura 5.- Distribución de secaderos de lúpulo por año de construcción.

Figura 6.- Distribución de secaderos por sistema de control de temperatura.



1.3.- ORIGEN DE LA BIOMASA ENERGÉTICA.

La biomasa tiene su origen en múltiples actividades relacionadas con el aprovechamiento y acondicionamiento de distintos recursos naturales, de ahí que las características y usos posteriores de ella sean muy distintos.

1.3.1.- RESIDUOS FORESTALES.

Clasificada como *Biomasa Residual Seca Lignocelulósica* los residuos forestales pueden ser originados por los siguientes aprovechamientos o actividades de acondicionamiento de recursos naturales:

Tratamientos selvícolas: se trata de actividades de acondicionamiento de bosques cuyo aprovechamiento principal es la madera (especies como pino, haya o roble) obteniéndose residuos procedentes de aclareos, desbroces de sotobosque, podas, apertura de caminos, cortafuegos, calles para líneas eléctricas...

Aprovechamiento forestal: paralelamente a los pies maderables (que sería el objetivo principal) los residuos obtenidos son copas, ramas, rabeones, pies pequeños, pies secos o tocones...

Incendios: los árboles quemados y que no se pueden aprovechar como madera.

Cosecha de matorrales: los matorrales se pueden considerar como etapas procedentes de la degradación de bosques arbolados después de haber sufrido un incendio, una tala masiva o una plaga importante. Son una fuente importante de residuos forestales si se procede a la corta de la parte aérea, sin embargo hay que ser cautelosos con este aprovechamiento pues se puede producir un exceso de erosión del suelo al quedar éste totalmente desnudo.

Es obvio que el aprovechamiento de este tipo de residuos originaría una reducción en el número de plagas así como un buen control contra los incendios que actualmente asolan nuestros bosques. También hay que tener en cuenta que el uso de las llamadas “leñas” que tan extendido está en muchas zonas no está considerado como un uso real de biomasa.

1.3.2.- RESIDUOS AGRÍCOLAS.

Los residuos agrícolas son también *Biomasa Lignocelulósica* y proceden básicamente de las podas o como restos después del aprovechamiento principal para el que el cultivo está pensado.

Cultivos leñosos (olivo, vid, frutales): estos cultivos nos proporcionan básicamente restos de podas (ramas, pies secos, tocones).

Cultivos herbáceos: bien cultivos industriales (algodón, tabaco, oleaginosas) que proporcionan las plantas verdes y tallos no aprovechables en la industria o bien cultivos alimentarios, como los cereales de invierno (trigo, cebada) que proporcionan pajas, o los de verano (maíz, sorgo) que nos dan tallos, hojas, zuros, cascarillas.

Estos residuos se caracterizan por su estacionalidad y por la urgencia en la retirada del campo de cultivo. Su utilización en muchas ocasiones es como cama de ganado o sino se procede a su quema.

1.3.3.- RESÍDUOS DE INDUSTRIAS FORESTALES.

Considerados como *Biomasa Lignocelulósica* estos residuos se pueden clasificar como sigue:

Residuos procedentes de industrias de primera transformación: Aserraderos (cortezas, costeros, serrín, virutas), fábricas de tableros (cortezas, polvo del lijado), fábricas de celulosa (cortezas, finos), fábricas de corcho (restos de corcho, finos).

Residuos procedentes de industrias de segunda transformación: Carpinterías, fábrica de muebles, fábrica de embalajes, fábricas de papel, fábricas de derivados del corcho (tacos, viruta, serrín, recortes, restos del lijado...)

Se calcula que aproximadamente de 1 m³ de materia prima se obtiene un 0,88 m³ de rollo (sin corteza) de lo que un 0,6 m³ es madera aserrada, 0,2 m³ son costeros (usados para aglomerados y pastas) y un 0,044 m³ son retestados que suponen restos desechables junto con el 0,21 m³ que es corteza y el 0,035 m³ que son serrines.

En carpinterías se obtiene aproximadamente 41 t /operario y año de restos y en una fábrica de muebles unas 3 t/operario y año.

1.3.4.- RESIDUOS DE INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS.

Estos residuos son *Biomasa Residual Seca no Lignocelulósica* por lo que sus aplicaciones posteriores son distintas al de los residuos anteriormente citados. A modo de orientación se tiene:

Residuos de las industrias extractivas: de aceites (de oliva, de orujo, de semillas), de alcohol (de vino, etílico, cerveza, malta), de café, de azúcar.

Residuos de Industrias preparadoras: de arroz, de frutos secos, de tabaco, de algodón.

1.3.5.- RESIDUOS BIODEGRADABLES.

Son éstos *Biomasa Residual Húmeda* lo que hace que su acondicionamiento previo así como su uso posterior sea totalmente diferente al de la biomasa residual seca.

Se caracterizan porque suelen ser de naturaleza orgánica y con mucho contenido en agua, siendo susceptibles de un tratamiento biológico. Son residuos inevitables dentro del proceso productivo y en muchos casos contaminantes siendo obligatoria su adecuación para el vertido suponiendo ésto un coste adicional. Con su aprovechamiento energético se conseguiría hacer rentable (o menos costoso) deshacerse de dichos residuos.

Residuos de animales vivos: estiércoles y purines de explotaciones ganaderas (sobre todo de vacuno y porcino).

Residuos de animales muertos: Aguas residuales de lavado en mataderos que contienen sangre, trozos de carne y pellejos, pelos, uñas, huesos, excrementos, grasas, ...

Aguas Residuales bien de origen urbano (originan los lodos de depuradoras) o bien de origen industrial (alpechines de almazaras, vinazas de destilerías etc...).

1.3.6.- CULTIVOS ENERGÉTICOS.

Si hasta ahora se ha hablado de la biomasa residual como biomasa energética también existe una biomasa que sin ser residual no tiene un aprovechamiento ni alimentario ni industrial. Son cultivos cuyo aprovechamiento es como fuente de energía, de ahí su denominación como cultivos energéticos.

Se utilizan para estos cultivos energéticos terrenos marginales o tierras retiradas por la PAC y se pueden clasificar según el tipo de biomasa que generen como:

Lignocelulósicos: Especies leñosas plantados en alta densidad (10.000 plantas/ha) y turno corto de rotación (4 a 6 años) (Chopo o eucalipto...) o especies herbáceas que deberán ser perennes, de secano y con gran producción de biomasa (*Cynara cardunculus*...).

Alcoholígenos: bien de tipo azucarado (caña de azúcar, sorgo, remolacha) o amiláceo (cereales, patata, patata...).

Oleaginosos: como el girasol o la colza.

1.4.- UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA: TECNOLOGÍAS

Tabla 13.- Principales tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa.

PROCESOS	TECNOLOGÍA	PRODUCTO FINAL
TERMOQUÍMICO	Combustión	Calor
	Pirólisis	Combustibles sólidos Combustibles líquidos
	Gasificación	Gas pobre
BIOQUÍMICO	Digestión Anaerobia	Metano
	Fermentación Alcohólica	Etanol

(Fuente: Junta de Castilla y León y EREN)

Tabla 14.- Tecnologías utilizadas según el tipo de biomasa

TIPO DE BIOMASA	TECNOLOGÍA			
	Gasificación Pirólisis	Combustión	Digestión Anaerobia	Fermentación Alcohólica
FORESTAL	X	X		
AGRÍCOLA	X	X		X
GANADERA			X	
INDUSTRIAL		X	X	
URBANA		X	X	

(Fuente: Junta de Castilla y León y EREN)

1.4.1.- COMBUSTIÓN.

La combustión es una reacción química exotérmica, exactamente, una oxidación completa en la que el carbono y el hidrógeno se transforman en dióxido de carbono y vapor de agua, quedando como residuo, las cenizas.

La biomasa que mejor se ajusta a este tipo de proceso son: los residuos agrícolas, los forestales, los de industrias forestales, así como algunos cultivos energéticos (lignocelulósicos).

Tabla 15.- Composición tipo de la biomasa utilizada en los procesos de combustión.

Elementos	Unidad (%)
H	5- 6,5
C	45-54
O	34-42
N	0,1-1
S	-
Cenizas	0,8-1

Las variables que más influyen en la combustión son: la temperatura del proceso y el exceso de aire.

Previa a la combustión se suelen realizar una serie de tratamientos: triturado, molienda, secado, compactado (pellets y briquetas)...

El uso de la energía térmica obtenida, suele ser doméstico (agua caliente y calefacción) o industrial, la cual se utiliza bien directamente (energía térmica de los gases de combustión) o bien indirectamente (energía térmica que calienta otro fluido).

También la combustión de la biomasa se puede aprovechar para la producción de energía eléctrica, o para la cogeneración (energía térmica y eléctrica).

Los equipos de combustión utilizados, hornos o calderas, pueden ser entre otros, en parrilla o en lecho fluidizado, cada vez más extendido.

1.4.2.- PIRÓLISIS.

La pirólisis es una reacción endotérmica que consiste en la descomposición de la biomasa en ausencia total de oxígeno. La descomposición de la materia orgánica comienza al alcanzar los 250 °C para finalizar alrededor de los 500-600 °C.

Los productos obtenidos (en estado gaseoso, líquido y sólido) dependen de las características de la biomasa y de las condiciones del proceso (presión y temperatura).

En un primer momento se obtiene un vapor piroleñoso, después un combustible líquido y al final un sólido (coque) compuesto por alquitrán, carbón y cenizas.

El carbón vegetal obtenido tiene un uso doméstico como combustible y en la industria metalúrgica como reductor.

1.4.3.- GASIFICACIÓN.

La gasificación es la oxidación parcial de la biomasa con la que se obtiene productos gaseosos compuestos por hidrogeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano y vapor de agua.

Las variables del proceso son: la temperatura, el tamaño de la partícula, el tipo de gasificador y la humedad.

El inicio de la gasificación es alrededor de los 700-800 °C hasta un máximo de 1100 °C, nunca mayor de 1500 °C, para evitar la fusión de la cenizas.

Este gas de síntesis se utiliza en la industria para producir metanol y otros combustibles líquidos, considerados como posibles sustitutos de las gasolinas.

Si la gasificación se hace con aire y biomasa con poco grado de humedad se obtiene gas pobre o gasógeno (monóxido de carbono, nitrógeno e hidrógeno) que es utilizado directamente para la producción de energía térmica y eléctrica.

1.4.4.- DIGESTIÓN ANAEROBIA.

En la digestión anaerobia, la biomasa se descompone para dar lugar al biogás, que está compuesto básicamente por metano (CH₄, 60-70%), dióxido de carbono (CO₂, 30-40%) e hidrógeno y otros gases (<5%).

Además del biogás se obtiene un residuo semisólido (lodo o fango) compuesto por sales inorgánicas, materia orgánica no digerida, proteínas, grasas y celulosa.

El Poder calorífico superior del biogás es aproximadamente de 23000 kJ · m⁻³ biogás.

Se usa para este tipo de proceso los residuos ganaderos, aguas residuales urbanas e industriales, siendo en general, una biomasa con alto contenido en humedad y en la que la materia orgánica se presenta en forma de azúcares, celulosa, hemicelulosa, proteínas y lignina.

Los equipos que se utilizan para la digestión anaerobia son los digestores, que pueden ser de muchos tipos. Así se pueden clasificar en continuos y discontinuos, siendo éstos los más sencillos con tiempos de retención de 17 a 21 días y un rendimiento de 0,3 a 0,5 m³ por cada m³ de digestor.

Los digestores se pueden clasificar según su forma de operar como:

Digestores de biomasa suspendida: de mezcla (15 a 30 días y $< 1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ digestor); de contacto (7 a 30 días y $1 \text{ a } 2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ digestor) y de lecho expandido o fluidizado.

Digestores de biomasa adherida: con soporte móvil, fijo, al azar y orientables.

El tamaño de estos digestores depende de las características de la biomasa (cantidad, contenido de sólidos y digestibilidad de los mismos) y de las características del sistema de digestión (frecuencia, alimentación...).

El biogás obtenido se utiliza en el sector doméstico (agua caliente y cocina) o como combustible en motores de combustión interna para generar energía eléctrica y vapor, que se usa a su vez como fluido caliente en el propio proceso de digestión anaerobia.

El residuo semisólido se suele utilizar como fertilizante o en la alimentación animal.

1.4.5.- FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.

En este proceso los hidratos de carbono complejos (almidón, celulosa) se transforman mediante una hidrólisis ácida o enzimática para obtener azúcares más simples. Éstos, a su vez sufren una fermentación para conseguir etanol mezclado con agua que con una posterior destilación se obtendrá el etanol como producto final:



Todo este proceso se realiza en medio acuoso y dentro de un estrecho margen de temperaturas que favorecen el desarrollo de las bacterias.

1.4.6.- PROCESOS PREVIOS A LA CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA: SECADO.

Los procesos previos a la conversión termoquímica de biomasa pueden ser básicamente (Arias et al., 1986):

Reducción de tamaño: muy utilizado para los restos forestales, se trata del típico astillado, para conseguir una mayor uniformidad.

Densificación: se trata normalmente de procesos de pelletización y/o briquetado, muy caros energéticamente porque además precisan de un proceso de trituración previa.

Secado: La biomasa lignocelulósica es un producto heterogéneo en cuanto a composición, granulometría y contenido de humedad con que se genera.

Así al plantearse el aprovechamiento energético de la biomasa y su viabilidad es la humedad de ésta lo que merece especial atención.

Secado de biomasa lignocelulósica:

Una elevada humedad en los restos plantea problemas como el encarecimiento del transporte, dificulta o imposibilita la transformación en combustibles de calidad, reduce los rendimientos en procesos de conversión termoquímica, incrementa la producción de sustancias contaminantes y en general, produce una combustión inestable y poco eficaz (Ortiz Torres, 1998).

En principio y como idea general se aceptan intervalos de humedades entre el 20% y el 5% como los más adecuados para el aprovechamiento por vía termoquímica.

Salvo raras ocasiones (residuos de industrias de transformación de la madera), las biomásas lignocelulósicas, tanto residuales como procedentes de plantaciones energéticas, presentan contenidos de humedad muy superiores al intervalo citado (del orden del 50%).

Para reducir esta humedad se puede realizar un secado natural (a la intemperie), con poco coste energético, con ello, no se consigue disminuir la humedad por debajo del 20% contando con una climatología adecuada e infraestructura suficiente para almacenamiento durante un período más o menos largo en el tiempo.

Cuando los valores resultantes de un secado natural no son los adecuados para el proceso necesario, hay que plantearse la realización de un secado forzado. Éste se suele realizar en secaderos neumáticos o rotatorios.

Los de tipo *neumático* están basados en el arrastre de los residuos mediante un flujo térmico que durante el recorrido extrae la humedad de los sólidos.

Los secaderos *rotatorios o de tipo Trommel* se suelen utilizar cuando se trabaja con materiales muy húmedos y/o de granulometría gruesa.

1.5.- SECADO DEL LÚPULO: PROBLEMÁTICA.

Existen numerosos factores que están influyendo decisivamente en un incorrecto secado del lúpulo en la provincia de León:

1.- Instalaciones obsoletas: más del 80% de los secaderos (*de bandeja fija*) tienen una antigüedad superior a 15 años, no habiendo sufrido apenas modificaciones en todo este tiempo. Los quemadores están en mal estado y los sistemas de eliminación de humos son inexistentes, es decir, en la mayoría de los secaderos no hay separación entre los humos procedentes de la combustión y el aire utilizado para secar el lúpulo, lo que produce el deterioro de las propiedades organolépticas del lúpulo (mal olor, cambio de color, aparición de restos de combustión...).

2.- Dimensionado incorrecto del secadero: los secaderos existentes están dimensionados para una superficie media inferior al 50% de la real, circunstancia que obliga muchas veces a sobrecargarlos.

3.- Manipulado incorrecto del lúpulo: el llenado y vaciado del secadero se realiza, generalmente, a mano lo que conlleva tanto el deterioro de las características físicas y químicas del producto como un esfuerzo físico innecesario para los cultivadores.

4.- Control insuficiente del proceso de secado: aunque la utilización de termómetros tiene cada día más aceptación, los sistemas de control de la temperatura de secado (termostatos) todavía son insuficientes. Asimismo hay un deficiente control de la humedad dentro de la cámara lo que conlleva el deterioro, en ocasiones, del lúpulo y una excesiva lentitud en el secado con el consiguiente incremento innecesario del consumo de combustible.

5.- Acondicionado posterior inexistente: el 80% de las explotaciones enfrían el lúpulo en la cámara de secado debido al reducido tamaño de las instalaciones.

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Previsión de potencial mundial de uso de energías renovables.</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2.- Cuantificación de la importancia energética de la biomasa en España (año 1996).</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 3.- Utilización de la energía de la biomasa según sectores (Año 1996).</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 4.- Consumo de biomasa según el tipo de combustible.</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 5.- Consumo de energía de la biomasa por Comunidades Autónomas (Año 1996).</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 6.- Producción de energía eléctrica a partir de biomasa por Comunidades Autónomas (Año 1996).</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 7.- Proyectos de biomasa por Comunidades Autónomas (Año 1996).</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 8.- Ejemplos de proyectos llevados a cabo en provincias españolas.</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 9.- Solicitudes de instalaciones de cogeneración según provincias (Año 1998 y 1999).</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 10.- Solicitudes de instalaciones de cogeneración según actividades (Año 1998 y 1999).</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 11.- Estado actual de proyectos en ejecución y/o tramitación en Castilla y León (Año 1999).</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 12.- Cantidad de paja (t) obtenida por comarcas entre los años 1987 y 1997.</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 13.- Principales tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 14.- Tecnologías utilizadas según el tipo de biomasa.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 15.- Composición tipo de la biomasa utilizada en los procesos de combustión. .</i>	<i>22</i>

INDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1.- Consumo de Energía Primaria en España: Años 1990 y 2000.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2.- Porcentaje de participación de las distintas ER en la producción de energía en España (1995).</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3.- Distribución de cultivadores de lúpulo por edad.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4.- Distribución de cultivadores de lúpulo por régimen de tenencia.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5.- Distribución de secaderos de lúpulo por año de construcción.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6.- Distribución de secaderos por sistema de control de temperatura.....</i>	<i>16</i>

2.- Objetivos

|

|

2.- OBJETIVOS.

1.- Determinación del poder calorífico de tres materiales:

a.- Determinación del Poder calorífico (superior e inferior) en función de su contenido de humedad (bien en base húmeda o seca) de restos herbáceos con posible aprovechamiento energético (restos de maíz y de cebada) y de un cultivo energético: *Cynara cardunculus*.

b.- Obtención de las ecuaciones y de las curvas de poder calorífico de estos materiales.

2.- Estudio del Secado forzado de los tres materiales elegidos en un prototipo de secadero de lúpulo:

a.- Estudio de la posibilidad de aprovechamiento de estos secaderos de bandejas en épocas en que no se utilicen para el secado de lúpulo.

b.- Realización de los balances de materia correspondientes y curvas de secado.

c.- Tomando como “respuesta” los puntos de humedad reducidos se estudiará:

- Efecto de la humedad inicial del material en la respuesta, independientemente de las condiciones de secado.
- Efecto de las condiciones de secado del secadero (velocidad y temperatura del aire de entrada y tiempo de residencia) y de humedad inicial del material.
- Efecto de las condiciones de secado (velocidad y temperatura del aire de entrada y tiempo de residencia del material) sobre la respuesta, independientemente de la humedad inicial del material.

3.- Estudio energético del secado forzado de los tres materiales elegidos:

a.- Realización de los balances de energía correspondientes.

b.- Elaboración de las curvas que relacionan el aporte energético en el secado forzado con el incremento del poder calorífico del material debido al descenso de humedad.

c.- Determinación del límite en el secado para que el incremento de poder calorífico de los materiales (por reducción de su humedad) sea superior al aporte energético necesario para su secado.

3.- Revisión Bibliográfica

|

|

3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1.- SECADO FORZADO.

3.1.1.- MECANISMO DEL SECADO.

EL AGUA EN LOS SÓLIDOS.

Las distintas formas en que se encuentra el agua en la biomasa hace que pueda recibir distintos nombres (Ortiz Torres, 1997):

1.- Agua de impregnación o inbibición: se trata de un agua de saturación, que rellena los espacios y paredes celulares. Pueden distinguirse tres niveles de retención:

Agua de condensación capilar (entre 16 y 30 %).

Agua de adsorción en capas múltiples (entre 8 y 16 %).

Agua de adsorción molecular (entre 8 y 0 %).

2.- Agua libre o de capilaridad: es la que rellena los intersticios y espacios intercelulares de tamaño capilar.

3.- Agua de constitución: forma parte de la propia estructura de las células, es decir de los productos que constituyen la pared celular. Su eliminación supone la destrucción de la estructura celular.

Para Kollman (1959) existe, por encima del punto de saturación de las fibras, el agua libre, en condiciones de formar gotas en los grandes lúmenes celulares y en los capilares anchos, en este caso se trata de humedad ligada por fuerzas capilares. Por debajo del punto de saturación, el agua se encuentra como líquido ligado coloidalmente en los espacios intermicelares o bien en forma de vapor en los grandes lúmenes celulares, mezclado con gases (Ortiz Torres, 1997).

Se alcanza el punto de saturación (Ortiz Torres, 1997) cuando las cavidades celulares están vacías de líquido pero las paredes permanecen saturadas de agua de impregnación.

Por encima del punto de saturación, el agua está ligada a la madera (Kollman, 1959 y Ortiz Torres, 1997) por fuerzas capilares considerables, aunque pequeñas en comparación con las que se producen en el tabique celular, por este motivo es necesaria mayor energía para extraer el agua contenida entre las fibrillas y microfibrillas que la depositada en el lumen celular.

Estas fuerzas capilares producen el movimiento del agua líquida cuando se está por encima del punto de saturación y por debajo de éste el movimiento se ve influenciado, además, por la difusión causada por diferencia de humedad y presión parcial.

DEFINICIÓN DEL PROCESO DE SECADO.

El secado de la biomasa (Alvarez Noves, Fdez-Golfín, 1992) es un fenómeno consistente en la eliminación superficial de agua, por evaporación, a la vez que ésta migra desde el interior hacia el exterior de la “madera”.

Según Ortiz Torres (1997), el secado es un proceso de transferencia de materia y energía, mediante el cual se hace pasar un material desde un estado húmedo hasta otro menos húmedo, mediante extracción del líquido (agua generalmente), que impregna, moja o disuelve al resto del producto.

La definición anterior conlleva la exigencia de una forma de vehiculización de energía y materia (Bueno de las Heras, 1993).

Para Bueno de las Heras et al. (1993) el término “secado” describe procesos mediante los cuales se elimina una fracción líquida presente en una determinada sustancia química o material compuesto.

Si bien es verdad que la fracción líquida puede ser cualquier aditivo tecnológico o de proceso o cualquier excipiente o vehículo, es el agua el fluido omnipresente en los productos naturales así como el utilizado como disolvente, dispersante o agente de transporte en la industria, es por ello, que se confunden, en muchas ocasiones, el término “secado” con el de “deshidratación”.

Bueno de las Heras et al. (1993) distinguen dos tipos de procedimientos para la extracción de la fracción líquida de una sustancia: procedimientos mecánicos (presión, filtrado o centrifugación) llamándoles “deshidratación”, y procedimientos térmicos llamándoles “secado”. Se puede, entonces definir éste, como la eliminación de sustancias volátiles (humedad) por calentamiento de un sólido.

Cuando en el secado existe un agente externo inerte (Bueno de las Heras et al., 1993), atmósfera de secado, su función es captar humedad por descompensación del equilibrio en las condiciones de Presión y Temperatura del proceso (por lo tanto, en rigor, no es inerte) y aportar por conducción-convección una fracción del calor latente de cambio de estado (evaporación+desligamiento de la materia sólida).

En un proceso genérico de secado (Bueno de las Heras, mayo 1994), existe un sustrato condensado húmedo (fase condensada) que interacciona con un medio fluido (fase gaseosa) a través de una o varias interfases que permiten el intercambio de materia y energía.

La fase condensada puede ser un sistema multifásico sólido, cristalino o amorfo, una pasta, un gel, una dispersión o una disolución, generalmente suele ser un sólido bajo una sola fase.

La fracción fluida puede ser una dispersión, una niebla o un aerosol, o una mezcla imperfecta, generalmente suele ser una fase gaseosa.

FASES EN EL PROCESO DE SECADO: CINÉTICA DEL SECADO.

En el proceso de secado existen varias fases, perfectamente diferenciadas:

Fase primera de evaporación superficial: En esta fase (Alvarez Noves, Fdez-Golfín, 1992) el agua libre se encuentra presente tanto en el interior como en el exterior del sólido.

Si el contenido de humedad inicial es elevado se puede admitir que la superficie está cubierta de una capa de agua. En estas circunstancias el agua se evapora desde esta superficie como si desde una superficie de agua libre se tratara.

Para Nonhebel et al. (1972) este es el período de velocidad de secado constante en el que la velocidad, la temperatura y la humedad del gas de secado son las condiciones que controlan el proceso, si éstas son constantes, la velocidad de secado es constante y la migración del líquido desde el interior del sólido no es el fenómeno que controle el proceso.

En este período (Bueno de las Heras, septiembre 1996) la presión de vapor del líquido es igual a su presión de vapor puro a la temperatura de equilibrio. La velocidad de secado viene dada por la rapidez con que se difunde el vapor del líquido a través de la película de gas.

Puesto que la resistencia a la transferencia de calor y materia se localiza solamente en la corriente de aire, la velocidad de flujo no cambia con el tiempo en tanto no lo hagan las condiciones del medio gaseoso. La ecuación de transferencia de calor y de materia para este período pueden formularse como sigue:

$$-m_s \cdot \frac{dX}{dt} = \frac{A \cdot h \cdot (T - T_w)}{\Delta H_v} = A \cdot k_G \cdot (P_0 - P) \quad (\text{Ec. 1})$$

siendo: X = humedad, t = tiempo, m_s = masa del sólido seco, T = temperatura seca (°C), T_w = Temperatura húmeda (°C), h = coeficiente de transmisión de calor ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$), ΔH_v = calor latente de vaporización a la temperatura de la superficie, A = área de transferencia, k_G = coeficiente de transferencia de materia ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$), P_0 = presión de vapor del agua en las condiciones de interfase (atm), P = presión parcial del agua en el seno de la fase gaseosa (atm).

Nonhebel et al., ya en 1972, formuló una expresión, parecida a la anterior, que explicaba el equilibrio dinámico entre la velocidad de suministro de calor y la velocidad de eliminación de líquido:

$$\frac{dW}{d\theta} = \frac{h_c \cdot A \cdot (T_g - T_s)}{\lambda} = K_H \cdot A \cdot (H_{ss} - H_g) \quad (\text{Ec. 2})$$

siendo: W = Peso de sólido seco en el secadero (kg); θ = Tiempo de secado (s); h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$); A = Area de la superficie a secar (m^2); T_g = Temperatura del gas de secado (°C); T_s = Temperatura de la superficie de secado (°C); λ = Calor latente de vaporización en la superficie de secado ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); K_H = Coeficiente de secado en base a la humedad ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$); H_{ss} = Humedad de saturación del gas de secado a la temperatura superficial de la sustancia ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$); H_g = Humedad del gas de secado ($\text{kg} \text{ agua} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ aire seco}$).

En la Ecuación 2 se supone que tanto el gas de secado como el vapor se comportan como gases ideales y que la radiación y la conducción desde y hacia la superficie de evaporación son despreciables.

Fase segunda de evaporación interna o movimiento del agua libre en el interior de la materia: El final del período de velocidad constante permite caracterizar el valor

de humedad crítica (Bueno de las Heras, septiembre 1996) que corresponde al valor de la humedad en el instante en que la migración interna del agua a la superficie no puede igualar a la velocidad de evaporación correspondiente a la transferencia de materia desde la superficie libre de agua, produciéndose una descompensación que hace que sean mecanismos internos los que controlan el proceso.

En este período la velocidad de secado desciende bruscamente y la humedad está contenida en los capilares más finos y puede migrar trepando por las paredes o por sucesivas evaporaciones y condensaciones, se produce en este momento una transferencia interior.

Para Alvarez Noves, Fdez-Golfin (1992), esta fase comienza cuando ya no es posible admitir que la superficie exterior está rodeada de una capa de agua. Se produce, entonces, un fenómeno de evaporación interior, en el seno del cuerpo, caracterizado por una menor superficie de evaporación y, por tanto, por una velocidad de secado decreciente. A lo largo de esta segunda fase el frente de evaporación interno se va desplazando hacia zonas más profundas del sólido.

El agua se mueve (Ortiz Torres, 1997) desde las zonas más húmedas hacia las más secas por succión capilar, mientras existe agua y burbujas de vapor en el lumen.

Para Nonhebel et al. (1972), no es que en este momento comience la evaporación interior, sino que es cuando ésta se convierte en fenómeno regidor pues la velocidad de migración del líquido hacia la superficie del sólido se reduce y esto produce una disminución del efecto de las condiciones externas, siendo la velocidad de secado un reflejo de la falta de uniformidad en la velocidad de migración de líquido a la superficie.

Esta baja velocidad de transferencia de calor puede ser expresada cuantitativamente, en función del aumento de la temperatura superficial del sólido:

Transferencia de calor en el período de velocidad decreciente:

$$R_f = \frac{10^3 \cdot (M_c - M_f) \cdot W}{A \cdot \theta_f} = \frac{h_c}{\lambda} \int_{T_s}^{T_g - T_{wb}} d(T_g - T_s) \quad (\text{Ec. 3})$$

siendo: R_f = velocidad total de secado en el período de velocidad decreciente ($g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$); M_c = Humedad crítica en sólidos ($kg \cdot kg^{-1}$); M_f = Humedad final en sólidos ($kg \cdot kg^{-1}$); W = Peso de sólido seco en el secadero (kg); θ_f = Tiempo de secado en el

período de velocidad decreciente (s); A = Area de la superficie a secar (m^2); h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$); λ = Calor latente de vaporización en la superficie de secado ($kJ \cdot kg^{-1}$); T_g = Temperatura del gas de secado ($^\circ C$); T_s = Temperatura de la superficie de secado ($^\circ C$); T_{wb} = Temperatura de bulbo húmedo del gas de secado ($^\circ C$);

Transferencia de materia en el período de velocidad decreciente:

$$R_f = \frac{10^3 \cdot (M_c - M_f) \cdot W}{A \cdot \theta_f} = \int_0^{(K_H)_c} dK_H \int_0^{H_{sw} - H_g} d(H_{ss} - H_g) \quad (\text{Ec. 4})$$

siendo: R_f = velocidad total de secado en el período de velocidad decreciente ($g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$); M_c = Humedad crítica en sólidos ($kg \cdot kg^{-1}$); M_f = Humedad final en sólidos ($kg \cdot kg^{-1}$); W = Peso de sólido seco en el secadero (kg); θ_f = Tiempo de secado en el período de velocidad decreciente (s); A = Area de la superficie a secar (m^2); K_H = Coeficiente de secado en base a la humedad ($g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$); $(K_H)_c$ = Valor de K_H en el período de secado a velocidad constante ($g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$); H_{ss} = Humedad de saturación del gas de secado a la temperatura superficial de la sustancia ($kg \cdot kg^{-1}$); H_g = Humedad del gas de secado (kg agua \cdot kg^{-1} aire seco); H_{sw} = Humedad de saturación del gas de secado a la temperatura de bulbo húmedo correspondiente a T_{wb} (kg agua \cdot kg^{-1} aire seco); T_{wb} = Temperatura de bulbo húmedo del gas de secado ($^\circ C$);

Fase tercera de difusión: Comienza esta fase (Alvarez Noves, Fdez-Golfín, 1992) cuando no existe ya agua libre en la biomasa sino sólo ligada. El fenómeno rector en esta fase no es ya la evaporación sino la difusión de humedad.

Bueno de las Heras (sept. 1996), reconoce la existencia de una tercera fase en el proceso de secado que es cuando éste tiene lugar en la parte más interna del material, considerándose que la humedad está contenida en capas multimoleculares y finalmente en una monocapa.

Cuando no existe agua libre (Ortiz Torres, 1997) predomina el movimiento por difusión del vapor en el lumen, condensación en el tabique celular, difusión a través de éste y difusión del vapor en el lumen de la célula siguiente y finalmente, difusión del agua a lo largo de la pared celular.

El modelo de difusión para la etapa postcrítica se resumiría según la 2ª Ley de Fick (Bueno de las Heras, sept. 1996):

$$\frac{\delta X}{\delta t} = D \cdot \frac{\delta^2 X}{\delta z^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

Ortiz Torres, 1997, distingue también tres fases en el secado, que no se corresponden exactamente con las definidas anteriormente:

Fase primera: en la que el sólido a secar adapta su temperatura a la del flujo secante.

Fase segunda: en la que la velocidad de secado permanece constante y que se corresponde con el período en el que la superficie del sólido está húmeda.

Fase tercera: en la que por debajo de una determinada humedad del sólido, específica para cada uno, la velocidad de secado va disminuyendo continuamente con el tiempo.

Por otra parte, (Ortiz Torres, 1997) y debido al principio de la pared fría la humedad se desplaza desde los puntos de mayor temperatura hacia los más fríos. Por ser la biomasa en general, un material de baja conductividad térmica, la temperatura en el interior será menor que en el exterior durante el secado.

Desde otro punto de vista en la cinética del secado térmico convencional existen tres fenómenos fundamentales y simultáneos (Bueno de las Heras, sept. 1996):

Transmisión de calor: para adecuar la temperatura (calor sensible) y suministrar energía para evaporar un líquido más o menos ligado a la matriz (calor latente).

Transferencia de materia: en fase condensada (humedad interna) y en fase gaseosa (humedad evaporada).

Transporte de energía mecánica: derivada de los flujos convectivos de fases fluidas y de las eventuales retracciones y distorsiones estructurales del material.

En los experimentos de secado se obtienen datos que relacionan el contenido de humedad con el tiempo transcurrido desde el inicio. La representación gráfica de estos datos suele recibir el nombre de *curva cinética* o *curva de secado*.

Así como el *equilibrio de secado*, comentado más adelante, es una característica de estado, la *cinética de secado* (dX/dt , siendo X = contenido de humedad, t = tiempo) (fig. 1 A) es una característica de operación.

Una curva de secado representa la evolución particular de un experimento y es muy sensible a dos tipos de factores:

1. Factores que dependen del mecanismo de migración del líquido.
2. Factores ambientales totalmente circunstanciales.

Las etapas de secado se ponen de manifiesto mucho más nítidamente representando gráficamente $(-dX/dt)$ con respecto a X (fig. 1 B), así se obtiene la curva de velocidad de secado:

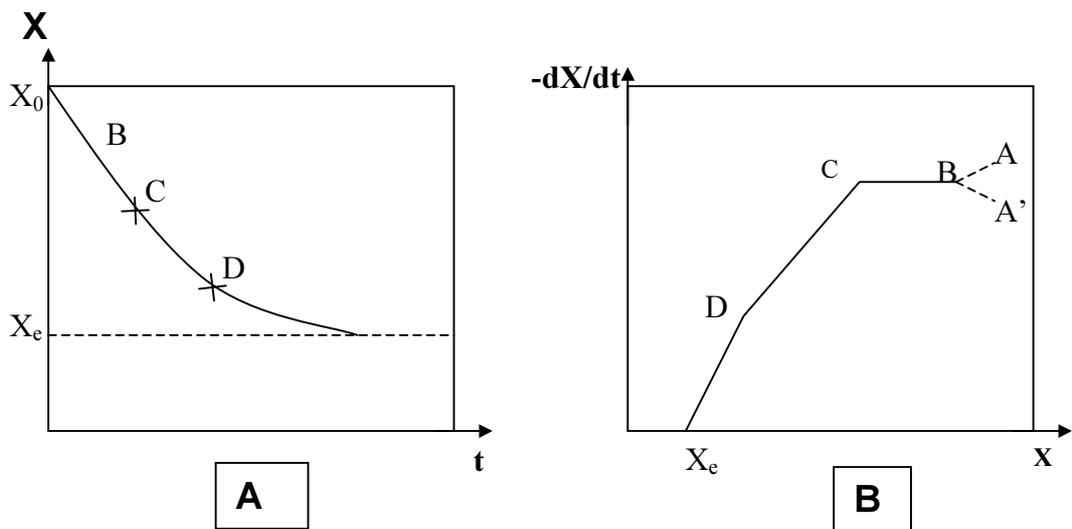


Figura 1.- Curvas genéricas de secado:
 A.- Variación experimental del contenido de humedad.
 B.- Períodos de velocidad de secado.

El período AB o A'B es el período inicial en el que la velocidad de secado puede disminuir o aumentar a medida que disminuye la humedad desde el valor X_0 , lo que se debe a que la temperatura del sólido y del líquido que lo acompaña puede ser mayor o menor que la del aire de secado. Es un período no estacionario muy poco importante que apenas se considera.

Cuando el sólido alcanza una humedad X_B puede aceptarse que está recubierto por una película homogénea del líquido que empieza a secarse con una velocidad constante hasta alcanzar una humedad X_C .

La humedad X_C (ó humedad crítica), representa un cambio de mecanismo en el proceso de secado, siendo el período CD el de velocidad decreciente lineal. Si el sólido es poroso el agua llega fácilmente a la superficie por capilaridad o por difusión.

Posteriormente puede seguir un período de velocidad decreciente no lineal hasta que el sólido se seque totalmente alcanzando la humedad de equilibrio X_e .

EQUILIBRIO DEL SECADO.

Un sistema termodinámico está en equilibrio (Bueno de las Heras et al., mayo 1994) cuando todas sus propiedades de estado se mantienen constantes en el tiempo.

En estos sistemas se consideran tres fases: sólida, líquida y gaseosa y tres componentes: el sólido, el agua y el aire. Cada fase se diferencia de las otras en la proporción en que los componentes aparecen en la misma.

La mayor parte de los problemas de secado conciernen a sistemas bifásicos (“secado de sólidos insolubles”) o trifásicos (“secado de sólidos solubles”).

Centrándonos en el secado de sólidos insolubles Bueno de las Heras et al. (junio 1994) comentan que si a una presión y temperatura determinada un sólido se pone en contacto con una masa de gas que contiene vapor del mismo componente con una presión parcial, que puede variar desde cero al valor de saturación, y si en esas condiciones la presión de vapor del componente sólido puede considerarse despreciable, la fase sólida perderá humedad por evaporación o la ganará por condensación.

Este proceso continuará hasta que la *presión de vapor* del líquido en la fase sólida sea igual a la presión parcial del mismo en la fase gaseosa.

La forma más frecuente y práctica de representar el equilibrio de secado es mediante la isoterma del material.

La utilidad de estos diagramas consiste en poder conocer en que sentido variará la humedad de un material en contacto con un determinado aire húmedo (Bueno de las Heras et al., junio 1994).

Cambios de composición.

Si se considera un punto genérico “i”, en la Figura 2, que representa una situación de inequilibrio (sólido con humedad inicial X_i , puesto en contacto con una corriente de aire de humedad relativa ϕ), el sistema tenderá al equilibrio: para ello el

sólido perderá humedad continuamente hasta alcanzar el valor de humedad correspondiente al equilibrio X_e , punto situado en la curva.

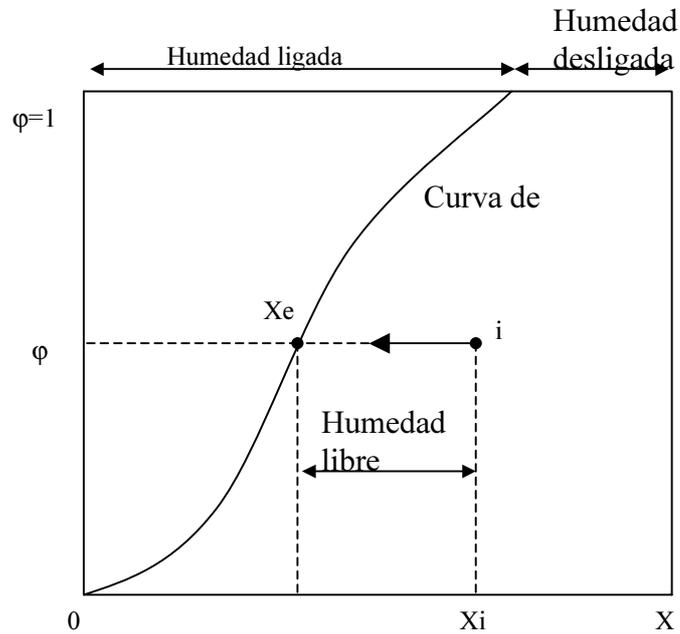


Figura 2.- Diagrama de equilibrio de secado.

Fuente: Bueno de las Heras et al. *Equilibrio de secado: (II) diagrama de equilibrio ternario. Ingeniería Química. Junio, 1994.*

Cambios energéticos.

El calor de deshumidificación (Bueno de las Heras et al., junio 1996), puede interpretarse como suma de dos contribuciones: el *calor de evaporación* del agua libre y el *calor de desorción* del agua ligada, éste representa una cantidad suplementaria de energía necesaria para vaporizar el agua que está en estado adsorbido.

3.1.2.- BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL SECADO.

Cuando se seca un sólido (Bueno de las Heras, septiembre 1994) tienen lugar dos tipos de fenómenos simultáneos:

1. Transmisión de calor: para adecuar la temperatura y suministrar la energía latente precisa para evacuar un líquido más o menos ligado a la matriz.
2. Transferencia de materia: en fase condensada (flujo de humedad condensada) y en fase gaseosa (flujo de humedad evaporada).

Un balance de cualquier propiedad (Ciria, 1997) sobre un sistema puede resumirse con la siguiente expresión $E + G = S + D + A$, siendo: E = lo que entra, G = lo que se genera en el sistema, S = lo que sale del sistema, D = lo que desaparece, A = lo que se acumula en el sistema.

En el caso más general, lo que se denomina estado estacionario, el término de acumulación es nulo ($A = 0$). Cuando en el sistema tiene lugar una transformación química, lo más normal es que sólo tenga sentido o la generación (G , de un “producto”) o la desaparición (D , de un “reactivo”).

En el caso del secado de biomasa en estado estacionario, no existen términos de generación, desaparición y acumulación, por lo que el balance se resume en $E = S$, y si se tienen en cuenta las inevitables pérdidas (P): $E = S + P$.

En el secado de productos mediante la incidencia de aire (acondicionado o no) entran en juego dos flujos (Muñoz Valero, 1988): el de la sustancia a secar, húmeda y fría, y el del aire de secado, seco y caliente:

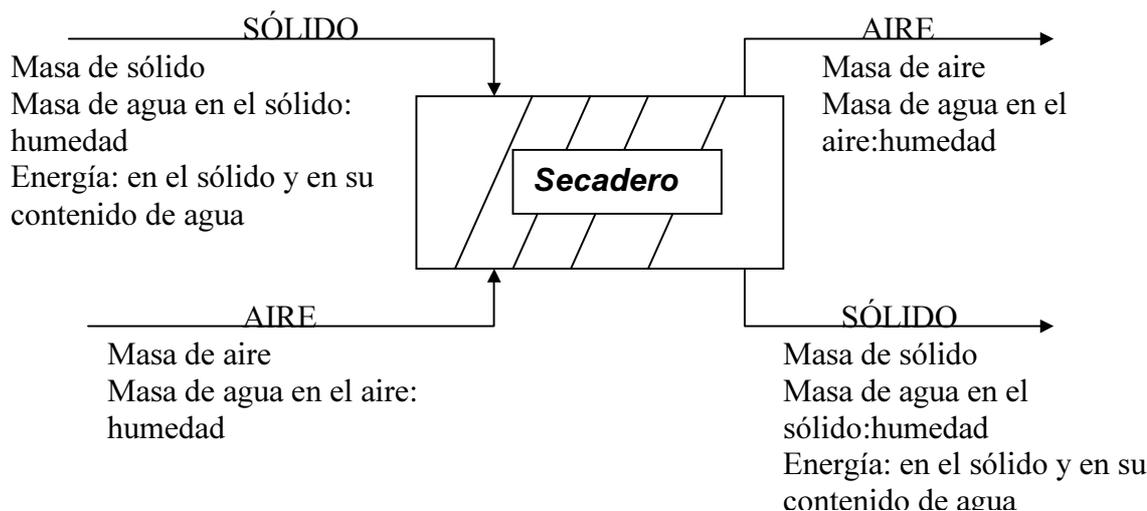


Figura 3.- Flujos de entrada y de salida en un secadero convencional.

BALANCES DE MATERIA.

Para hacer el balance de materia habrá que realizar: el balance de sólido, el balance de aire y el balance de agua (Muñoz Valero, 1988 y Ciria, 1997):

Si se considera que toda la masa seca de sólido que entra, vuelve a salir, el *balance de sólido* seco sería:

Masa seca del sólido que entra = Masa seca del sólido que sale = Masa seca del sólido.

Para el aire pasaría lo mismo y así el *balance de aire* sería:

Masa seca del aire que entra = Masa seca del aire que sale = Masa seca del aire.

Sin embargo en el caso del agua generalmente se supone que todo el agua que pierde el sólido en el secado lo toma el flujo secante, de tal forma que éste sale más frío y húmedo de lo que entró en el secadero, así el *balance de agua* quedaría:

Entra:

- Humedad en el aire (flujo secante) utilizado para el secado.
- Humedad del sólido a secar.
- Vapor de agua generado en combustión de gasóleo (en su caso).

Sale:

- Humedad en el aire (flujo secante).
- Vapor de agua generado en combustión de gasóleo (en su caso).
- Humedad del sólido evaporada.
- Humedad residual del sólido.

BALANCE DE ENERGÍA.

El balance de energía presenta ciertas peculiaridades que nos demuestran que la realización del mismo, no es tan sencillo como pudiera parecer.

En primer lugar, en el sistema interviene una “máquina” en la que la eficacia de la interconversión entre las distintas formas de energía no es del 100%, por otro lado, al estar operando por encima de la temperatura ambiente hay una serie de pérdidas de energía inevitables (a pesar del aislamiento).

El contenido energético (entalpía) absoluto no puede determinarse sino sólo el incremento de entalpía que tiene lugar respecto de un estado de referencia. Entonces al realizar un balance de energía se debe elegir un estado de referencia respecto del cual se calculará el contenido energético de cada una de las corrientes (Ciria, 1997).

En un secadero la energía que entra y sale será:

Entra:

- Energía contenida en el aire o en general en el gas secante (debida a su temperatura).
- Energía contenida en el “agua” del gas secante (debida a su humedad y a su temperatura).
- Energía contenida en el sólido (debida a su temperatura).
- Energía contenida en el agua del sólido (debida a su humedad y a su temperatura).
- Aporte energético del elemento calefactor utilizado para el secado.

Sale:

- Energía contenida en el flujo secante (debida a su temperatura).
- Energía contenida en el agua del flujo secante (debida a su humedad y su temperatura).
- Energía contenida en el sólido (debida a su temperatura).
- Energía contenida en el agua del sólido (debida a su humedad y su temperatura).
- Pérdidas (generalmente por la dificultad del aislamiento total).

Según Pilar Ciria (1997) la eficacia se define como:

$$\eta = \frac{\text{Calor necesario para evaporar el agua}}{\text{Calor suministrado por el agente secante}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Según Muñoz Valero (1988) la masa seca de aire que debe atravesar la sustancia a desecar es:

$$m = \text{Masa seca del sólido} \cdot \frac{\text{Humedad del sólido a la entrada} - \text{Humedad del sólido a la salida}}{\text{Humedad del aire a la salida} - \text{Humedad del aire a la entrada}} \quad (\text{Ec. 7})$$

3.1.3.- EL AIRE HÚMEDO.

Según Alvarez Noves y Fdez-Golfín (1992), *los parámetros del gas secante* que condicionan el secado y cómo la condicionan son:

1. Temperatura del aire de secado: este parámetro condiciona en primer lugar la velocidad de circulación del agua por el interior del sólido a secar.

Si durante el secado el interior del sólido permanece más frío que la superficie, este gradiente térmico hará que el agua tienda hacia el interior y no hacia el exterior que sería lo deseable. Se debe por tanto calentar en masa el sólido para que sea la superficie la zona más fría debido al efecto de la evaporación superficial (1ª y 2ª fases) o debido al menor contenido de humedad (3ª fase).

La temperatura del aire es también un factor de aceleración de la evaporación ya que eleva la capacidad de absorción de agua por parte del aire.

2. Humedad relativa del aire de secado: la influencia que este parámetro tiene sobre el secado depende de la temperatura del aire y de la fase de secado considerada.

Durante la primera y segunda fases del secado la humedad relativa del aire tendrá una gran importancia pues se producirá mayor evaporación si el aire tiene mayor capacidad para admitir el agua evaporada, es decir, si tiene una menor humedad relativa .

Durante la tercera fase, en la difusión, la influencia de la humedad del aire en la velocidad de circulación del agua en el interior del sólido es muy pequeña.

Parece claro que el material tenderá a secar más rápido con mayor temperatura y menor humedad del gas secante (Nonhebel et al., 1972), sin embargo a medida que el ensayo avanza esta influencia disminuye pues la velocidad de secado es regida realmente por la velocidad de transferencia de la humedad hacia la superficie donde se produce la evaporación.

3. Presión del aire de secado: para un estado higrométrico del aire, la velocidad de circulación de la humedad en el sólido aumenta conforme disminuye la presión.

Indirectamente la presión influye en la temperatura de ebullición del agua, conforme disminuye la presión también lo hace el punto de ebullición del agua, de forma que es posible hervir agua por debajo de los 100°C.

Así el ritmo de secado puede ser acelerado sin necesidad de utilizar elevadas temperaturas (fundamento del secado al vacío).

4. Velocidad del aire de secado: si bien es verdad que a mayor velocidad del aire, se produce mayor evaporación en la primera fase del secado, también es verdad que se necesita un tiempo de contacto mínimo para que el aire pueda transmitir el calor y absorber la humedad.

En la segunda fase de secado y conforme el frente se interna en el sólido, la influencia de la velocidad del aire en el ritmo de secado disminuye haciéndose casi nula en la tercera fase.

Debe hacerse notar (Nonhebel et al., 1972) que para pequeñas velocidades del aire, cobran importancia las corrientes convectivas.

Así se hace necesario estudiar las características de la atmósfera de secado que más frecuentemente se va a utilizar: el aire.

Al ser el aire una mezcla de gas-vapor y comportarse como una mezcla de gases ideales, en la que cada componente se supone homogéneo, en presión y temperatura, es perfectamente aplicable las leyes de Dalton y de Leduc. La ley de Gibbs-Dalton dice que "la presión en una mezcla de gases ideales es igual a la suma de las presiones parciales que cada componente ejercería si éste ocupara el volumen total de la mezcla a su misma temperatura".

La ley de Amagat-Leduc dice que: "el volumen de una mezcla de gases ideales es igual a la suma de los volúmenes de los diferentes constituyentes, si cada uno existiera a la presión y temperatura de la mezcla".

Se puede establecer, por tanto, las siguientes relaciones:

$$p_g \cdot V = n_g \cdot R \cdot T = \frac{m_g}{M_g} \cdot R \cdot T = m_g \cdot R_g \cdot T \quad (\text{Ec. 8})$$

$$p_v \cdot V = n_v \cdot R \cdot T = \frac{m_v}{M_v} \cdot R \cdot T = m_v \cdot R_v \cdot T \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\frac{p_v}{p_g} = \frac{n_v}{n_g} = \frac{m_v / M_v}{m_g / M_g} = \frac{m_v \cdot R_v}{m_g \cdot R_g} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$p = p_g + p_v \quad (\text{Ec. 11})$$

siendo: $M_v =$ peso molecular del vapor de agua = $18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M_g =$ peso molecular del aire seco = $28,96 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $n_v =$ número de moles del vapor de agua, $n_g =$ número de moles del aire seco, $m_v =$ masa del vapor de agua (g), $m_g =$ masa de aire seco (g), $p_v =$ presión parcial del vapor de agua (dentro de la mezcla de aire húmedo) ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$), $p_g =$ presión parcial del aire seco (dentro de la mezcla de aire húmedo) ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$), $R =$ constante de los gases perfectos = $8315 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $R_v = R/M_v = 461,9 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ y $R_g = R/M_g = 287,12 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

En función de la ley de Dalton, para una mezcla de aire seco y vapor se verifica:

$$(p_g + p_v) \cdot V = (m_g \cdot R_g + m_v \cdot R_v) \cdot T \quad (\text{Ec. 12})$$

Al considerarse la mezcla, como un nuevo gas ideal, se cumple para ella la ecuación de estado:

$$p \cdot V = m_m \cdot R_m \cdot T \quad (\text{Ec. 13})$$

siendo: $m_m = m_g + m_v$ y $R_m =$ constante de la mezcla en $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Combinando las Ecuaciones (12) y (13) se verificará que: $(m_g \cdot R_g + m_v \cdot R_v) \cdot T = (m_g + m_v) \cdot R_m \cdot T$, de donde se obtiene el valor de la constante R_m para la mezcla de gases, aire seco y vapor de agua:

$$R_m = \frac{(m_g \cdot R_g + m_v \cdot R_v)}{m_g + m_v} \quad (\text{Ec. 14})$$

HUMEDAD DEL AIRE HÚMEDO.

El contenido de aire seco dentro del aire húmedo es más o menos constante y la relación entre el contenido de agua en éste y el aire seco supone una buena cuantificación del contenido de humedad del aire húmedo.

La humedad específica (Torres Ruiz, 1984, Gómez Morales et al., 1987) es la masa en gramos de vapor de agua (m_v) contenida en un gramo de aire húmedo ($m_g + m_v$).

$$H'_e = \frac{m_v}{m_g + m_v} \quad (\text{Ec. 15})$$

siendo: $H'_e =$ humedad específica en base húmeda (b.h. en adelante) en g de vapor de agua $\cdot \text{g}^{-1}$ de aire húmedo.

También se define la humedad específica como la masa en gramos de vapor de agua (m_v) contenida en un gramo de aire seco (m_g).

$$H_e = \frac{m_v}{m_g} \quad (\text{Ec. 16})$$

siendo: H_e = humedad específica en base seca (b.s. en adelante) en g de vapor de agua $\cdot g^{-1}$ de aire seco.

La humedad absoluta (H_a) es la relación entre la masa de vapor de agua en gramos (m_v) por unidad de volumen de aire húmedo (V) en m^3 .

$$H_a = \frac{m_v}{V} \quad (\text{Ec. 17})$$

Sin embargo Muñoz Valero (1988) llamó humedad absoluta a la relación entre masas de vapor de agua y aire seco (anteriormente definida como humedad específica) siendo la relación por unidad de volumen lo que define como densidad del aire:

$$\delta = \frac{m_g}{V} \quad (\text{Ec. 18})$$

Para Muñoz Valero, como se puede ver, la densidad es la relación entre la masa del aire seco en gramos por cada metro cúbico de aire húmedo.

La “densidad real” del aire sería la relación entre la masa en gramos del aire húmedo y el volumen en metros cúbicos del aire húmedo:

$$\delta = \frac{m_g + m_v}{V} \quad (\text{Ec. 19})$$

Como esta relación depende de la presión del aire y, por lo tanto, cambia con la altura sobre el nivel del mar, se suele dar preferencia a la relación entre las masas, que son independientes de la presión del aire.

El volumen específico se define como (Muñoz Valero, 1988):

$$V_e = \frac{1}{\delta} = \frac{V}{m_g} \quad (\text{Ec. 20})$$

Si relacionamos las Ecuaciones (10) con (16) tenemos (Muñoz Valero, 1988 y Nonhebel et al., 1972):

$$H_e = \frac{m_v}{m_g} = \frac{M_v}{M_g} \cdot \frac{p_v}{p_g} = 0,623 \cdot \frac{p_v}{p - p_v} \quad (\text{Ec. 21})$$

Y relacionando (9) con (17):

$$H_a = \frac{m_v}{V} = \frac{p_v \cdot V / R_v \cdot T}{V} = \frac{1}{R_v} \cdot \frac{p_v}{T} = 0,289 \cdot \frac{p_v (\text{mmHg})}{T(^{\circ}\text{K})} \quad (\text{Ec. 22})$$

La humedad relativa (HR) (Torres Ruiz, 1984) es “la cantidad porcentual de vapor de agua que en un momento dado y a una determinada temperatura contiene el aire, con relación a la máxima cantidad de vapor que a esa misma temperatura, el aire puede contener”.

La HR se puede obtener con la razón: masa del vapor de agua (m_v) en el momento considerado y a una determinada temperatura, entre la máxima cantidad de vapor de agua que a la misma temperatura podría contener (MV), masa de saturación, y siendo la masa de vapor directamente proporcional a la presión a que dicho vapor se encuentra, comúnmente se obtiene la humedad relativa a partir de los datos de presión del vapor:

$$\text{HR} = \frac{m_v}{MV} \cdot 100 = \frac{p_v \cdot V / R_v \cdot T}{PV \cdot V / R_v \cdot T} \cdot 100 = \frac{p_v}{PV} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 23})$$

siendo p_v la presión parcial del vapor de agua (dentro de la mezcla de aire húmedo) y PV la presión parcial del vapor de agua en saturación.

Después de todo lo visto y según Muñoz Valero (1988), existen tres tipos de aire húmedo:

1.- Aire húmedo no saturado: en el que $p_v < PV$ a una determinada temperatura y $H_a < H_{as}$ (H_{as} = Humedad absoluta de saturación). Este aire está formado por “ H_a ” gramos de vapor por cada gramo de aire seco.

2.- Aire húmedo saturado con condensado líquido: en el que $p_v = PV$ y $H_a > H_{as}$ a una determinada temperatura $t > 0^{\circ}\text{C}$. Este aire se compone de “ H_{as} ” gramos de vapor saturado, “ $(H_a - H_{as})$ ” gramos de agua en forma de niebla o líquido precipitado por cada gramo de aire seco.

3.- Aire húmedo saturado con condensado sólido: que es el mismo caso anterior pero cuando la temperatura de condensación es inferior a 0°C y estando los “ $(H_a - H_{as})$ ” gramos de hielo en forma de escarcha.

ENTALPÍA DEL AIRE HÚMEDO.

Al ser el aire húmedo una mezcla de vapor de agua y de aire seco, se puede establecer que la cantidad de calorías contenidas en el aire húmedo son (Muñoz Valero, 1988):

$$I = m_g \cdot i_g + m_v \cdot i_v \quad (\text{Ec. 24})$$

siendo: I = entalpía del aire húmedo (cal), m_g = masa de aire seco (g), i_g = entalpía específica del aire seco (cal · g⁻¹), i_v = entalpía específica del vapor de agua (cal · g⁻¹), m_v = masa del vapor de agua (g).

Se puede definir la entalpía específica (i en cal · g⁻¹) del aire húmedo relacionando la entalpía del aire húmedo con la masa del aire seco:

$$i = \frac{I}{m_g} = i_g + He \cdot i_v \quad (\text{Ec. 25})$$

La entalpía específica del aire seco también llamado Calor Sensible (Q_s), para una temperatura t (°C), es:

$$Q_s = i_g = C_{p_g} \cdot t \quad (\text{Ec. 26})$$

siendo C_{p_g} = Calor específico del aire seco (cal · g⁻¹ · °C⁻¹) a presión constante.

El valor de C_{p_g} es variable con la temperatura. Según Lucini (1966) este parámetro tiene una expresión tal que:

$$C_{p_g} = 6,86 + 0,00106 \cdot t (\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}) = 0,236 + 3,66 \cdot 10^{-5} \cdot t (\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}) \quad (\text{Ec. 27})$$

Para Torres Ruiz (1984), no se comete ningún error si se considera un valor constante para el calor específico para el aire seco de 0,2374 cal · g⁻¹ · °C⁻¹, siendo para Nonhebel et al. (1979) un valor de 1,005 J · g⁻¹ · °C⁻¹. Pilar Ciria (1997) utiliza una tabla de valores de C_{p_g} en cal · g⁻¹ · °C⁻¹ en función de la temperatura dando unos valores extremos de 0,238 cal · g⁻¹ · °C⁻¹ para 0°C y 0,2414 cal · g⁻¹ · °C⁻¹ para 100°C.

El producto de la humedad específica (He) por la entalpía específica del vapor de agua contenido en el aire húmedo se denomina también Calor Latente (Q_l):

$$Q_l = H_e \cdot i_v \quad (\text{Ec. 28})$$

La entalpía específica del vapor de agua (i_v) o “calor total de vaporización” (Lucini, 1966) es igual al “calor en el líquido ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$)” (calorías necesarias para elevar la temperatura de un gramo de agua, $C_{p_v} \cdot t$) más el “calor latente de vaporización (λ en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$)” (calorías necesarias por cada gramo de agua para que se produzca su evaporación, sin incremento de temperatura):

$$i_v = C_{p_v} \cdot t + \lambda \quad (\text{Ec. 29})$$

siendo: C_{p_v} = Calor específico del vapor de agua ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) a presión constante.

El valor de C_{p_v} es también variable con la temperatura. Según Lucini (1966) tiene una expresión tal que:

$$\begin{aligned} C_{p_v} &= 6,5 + 0,0058 \cdot T(\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = 0,361 + 3,22 \cdot 10^{-4} \cdot T(\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = \\ &= 0,449 + 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot t(\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 30})$$

Nonhebel (1979) da para este parámetro un valor constante aproximado de $1,84 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, aproximado al dado por Muñoz Valero (1988) de $1,86 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

En cuanto al calor latente de vaporización (λ) Torres Ruiz (1984) propone la siguiente expresión determinada por Regnault:

$$\lambda = 606,5 - 0,695 \cdot t \quad (\text{Ec. 31})$$

En la tabla utilizada por Pilar Ciria (1997) se dan valores de λ en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ en función de la temperatura con unos valores extremos de $596,4 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ para una temperatura de 0°C hasta $539,0 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ para 100°C . Para Nonhebel et al. (1972) este valor se puede considerar con un valor de $2430 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ó $581,34 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

TEMPERATURA DEL AIRE HÚMEDO.

Otro parámetro para caracterizar el estado particular del aire húmedo es la temperatura, ahora bien la temperatura normal o seca que corrientemente se utiliza no basta, es necesario definir otras temperaturas para la caracterización.

Temperatura normal o seca (en °C ó en K) (Muñoz Valero, 1988): temperatura seca o de bulbo seco es la obtenida en un termómetro ordinario situado en el aire y que no se encuentra expuesto directamente a ninguna radiación térmica.

Temperatura húmeda (en °C ó en K) (Muñoz Valero, 1988): temperatura húmeda o de bulbo húmedo se puede definir como la temperatura que toma el agua cuando con ella se satura adiabáticamente (sin aportación ni cesión de calor) el aire. Por lo tanto esta temperatura nos indica la cantidad de calor total en el aire.

Su determinación se realiza exponiendo un termómetro ordinario, cuyo bulbo se ha recubierto previamente en una gasa o algodón empapado en agua, a la corriente del aire húmedo cuya temperatura se quiera determinar, verificándose, bajo estas condiciones, una evaporación continua del agua contenida en la gasa, disminuyendo su temperatura.

La absorción del calor necesario para la evaporación del agua de la gasa se realiza del contenido de agua en el aire y no de éste, pues la transmisión del calor es mucho más rápida en el medio agua-agua que en el medio agua-aire.

Así pues si la corriente de aire que circula por el bulbo húmedo del termómetro tiene una HR baja, se provocará una evaporación rápida del agua contenida en la gasa, causando un descenso notable de la temperatura de este termómetro frente a la temperatura registrada en el termómetro seco. Por el contrario, con un alto contenido de humedad en el aire, la evaporación será lenta y consecuentemente lo será el descenso de temperatura que experimentará este termómetro, llegándose el caso de que cuando el aire se encuentre saturado (HR=100%), no existirá ninguna diferencia entre la temperatura seca y la húmeda.

Para Nonhebel et al. (1972) la temperatura de bulbo húmedo es la temperatura de equilibrio que alcanza un líquido cuando se le transfiere calor por contacto con una masa infinita de gas a una temperatura y humedad dadas. La transferencia de materia desde el líquido por evaporación está equilibrada exactamente por el calor entregado por el gas, por lo tanto y según la Ecuación 32:

$$h_c \cdot (T_g - T_{wb}) = K_H \cdot \lambda \cdot (H_{sw} - H_g) \quad (\text{Ec. 32})$$

siendo: h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$); T_g = Temperatura del gas de secado ($^\circ C$); T_{wb} = Temperatura del bulbo húmedo ($^\circ C$); λ = Calor latente de vaporización a T_{wb} ($kJ \cdot kg^{-1}$); K_H = Coeficiente de secado en base a la humedad ($g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$); H_{sw} = Humedad de saturación del gas de secado a la temperatura de bulbo húmedo ($kg \cdot kg^{-1}$); H_g = Humedad del gas de secado ($kg \text{ agua} \cdot kg^{-1} \text{ aire seco}$).

La Ecuación 32 se puede presentar como sigue:

$$\frac{H_{sw} - H_g}{T_{wb} - T_g} = \frac{-h_c}{K_H \cdot \lambda} \quad (\text{Ec. 33})$$

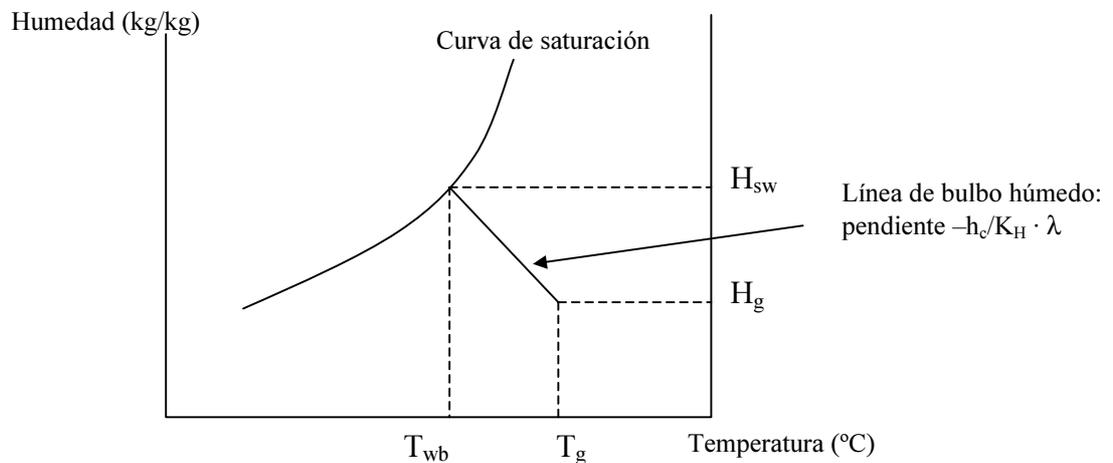


Figura 4.- Diagrama psicrométrico donde se muestra la línea de bulbo húmedo.
(NOTA: la línea XY no es exactamente una recta, pues λ es ligeramente variable con la temperatura y esto hace que su pendiente sea ligeramente variable)

Temperatura de saturación adiabática (Nonhebel et al., 1972) o temperatura de equilibrio que alcanza una mezcla de gas y líquido en condiciones adiabáticas (condiciones en las que no existe ni pérdida ni ganancia de calor). Entonces se cumplirá:

“Calor sensible en el gas y vapor en estado inicial + Calor latente en el vapor en estado inicial = Calor latente en el vapor en estado final”, es decir:

$$(T_g - T_{sg}) (C_g + C_v \cdot H_g) + \lambda \cdot H_g = \lambda \cdot H_s \quad (\text{Ec. 34})$$

siendo: T_g = Temperatura del gas de secado ($^\circ C$); T_{sg} = Temperatura de saturación adiabática del gas de secado ($^\circ C$); C_g = Calor específico del gas de secado ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$); C_v = Calor específico del vapor ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$); H_g = Humedad del gas

de secado ($\text{kg agua} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ aire seco}$); λ = Calor latente de vaporización ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); H_s = Humedad de saturación del gas de secado a la temperatura de saturación adiabática T_{sg} ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$);.

El término $(C_g + C_v \cdot H_g)$ representa el calor específico del gas con cierta humedad (H_g) y se denomina Calor Húmedo (S).

La Ecuación 34 se puede expresar como sigue:

$$\frac{H_s - H_g}{T_{sg} - T_g} = \frac{-S}{\lambda} \quad (\text{Ec. 35})$$

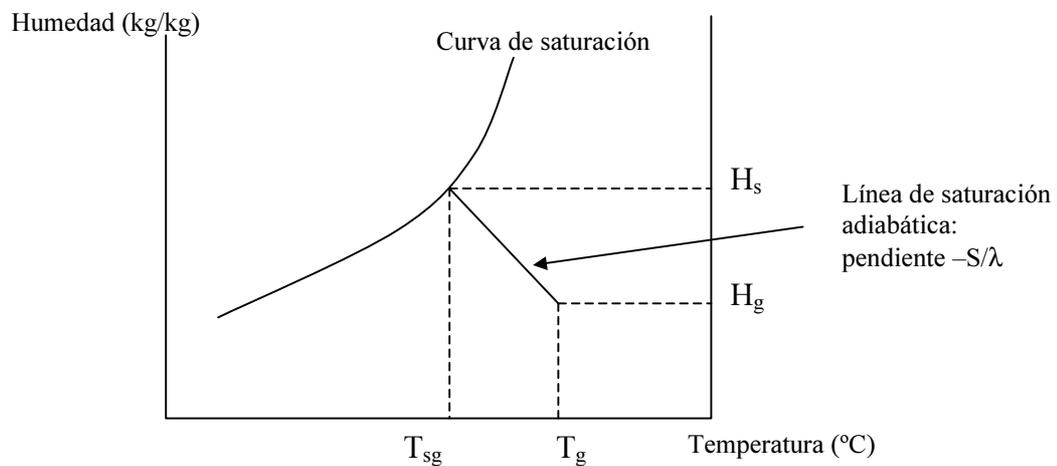


Figura 5.- Diagrama psicrométrico donde se muestra la línea saturación adiabática.

(NOTA: la línea XY no es exactamente una recta, pues λ es ligeramente variable con la temperatura y esto hace que su pendiente sea ligeramente variable)

Según Nonhebel et al., (1972), si la humedad H_g es pequeña o la variación del término $C_v \cdot H_g$ es pequeña, puede esperarse una identidad razonable entre las pendientes de la línea de saturación adiabática y la línea de bulbo húmedo, esto se cumple para un fluido compuesto de aire y vapor de agua, entonces en los sistemas aire/agua se cumple que:

$$\frac{h_c}{K_h} = S = C_g + C_v \cdot H_g \quad (\text{Ec. 36})$$

Temperatura de rocío (en °C o en K) (Muñoz Valero, 1988): Es la temperatura a la cual el aire queda saturado por enfriamiento, sin adición de vapor de agua ni variación de presión (proceso isobárico), a esta temperatura el vapor de agua contenido en el aire empezaría a condensarse y la temperatura seca y la húmeda serían iguales.

3.1.4.- EL SÓLIDO HÚMEDO.

HUMEDAD DEL SÓLIDO.

Los sólidos insolubles en presencia de un líquido, pueden comportarse como húmedos o como higroscópicos (Bueno de las Heras et al., junio 1994), siendo un cuerpo húmedo aquel cuya tensión de vapor del líquido volátil es igual a la de dicho componente puro a la misma temperatura: el cuerpo húmedo es totalmente inerte con respecto al líquido que le acompaña. Un cuerpo higroscópico interacciona con el líquido y da lugar, por el contrario a una tensión de vapor de éste menor que la que el líquido tendría a la misma temperatura.

Cuando la presión de vapor del líquido en la fase sólida se iguala con la presión de vapor del líquido en la fase gaseosa, se dice que se ha alcanzado la humedad de equilibrio (Bueno de las Heras et al., junio 1994).

De la humedad del sólido dependen muchas características del mismo como por ejemplo el poder calorífico así como su comportamiento ante distintos procesos como el secado.

El contenido de humedad de cualquier sólido puede darse referido respecto a su peso húmedo o respecto a su peso seco y conforme a esto se tiene (Kollman, 1959):

Humedad en base húmeda H' (b.h. base húmeda), g de agua/g de sólido húmedo:

$$H' = \frac{P_h - P_s}{P_h} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 37})$$

Es habitual definir las proporciones relativas de líquido y sólido seco, refiriendo la humedad a la cantidad de sólido seco, por ser ésta invariable a lo largo del proceso (Bueno de las Heras et al., junio 1994)

Humedad en base seca H (b.s. base seca), g de agua/ g de sólido seco (Kollman, 1959):

$$H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 38})$$

siendo: P_h = Peso de la muestra húmeda (g); P_s = Peso de la muestra seca (g).

La relación entre ellas es la siguiente:

$$H = \frac{H' \cdot 100}{100 - H'} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$H' = \frac{H \cdot 100}{100 + H} \quad (\text{Ec. 40})$$

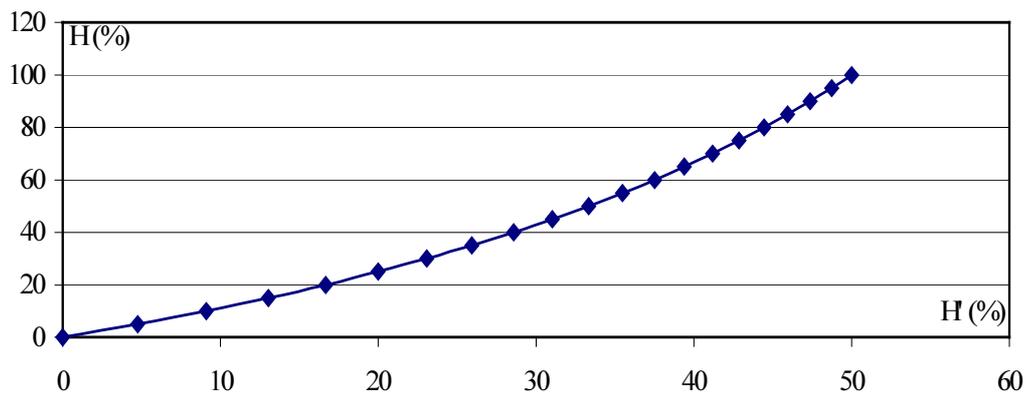


Figura 6.- Relación entre la humedad referida al peso seco y la misma referida al peso húmedo.

Según Kollman (1959), existen varios métodos para la determinación de contenido de humedad:

1. Desección en estufa.
2. Desección mediante sustancias higroscópicas.
3. Desección por vacío.
4. Determinación del volumen de agua por destilación.
5. Método del acetileno.
6. Expulsión directa del agua mediante presión.
7. Centrifugación del agua.
8. Extracción del agua por alcohol y soluciones azucaradas.
9. Procedimientos calorímetros.
10. Métodos químicos (colorimetría o formación de ácidos).
11. Métodos higrométricos.
12. Métodos eléctricos.

Del estudio de estos procedimientos se demuestra que para medir la humedad son adecuados la desecación por estufa y vacío, la destilación y algunos métodos químicos, higrométricos y eléctricos, siendo el método más exacto y el único científicamente satisfactorio la desecación por estufa.

En la desecación por estufa se trata de determinar el agua contenida en el sólido consiguiendo su evaporación y calculando la diferencia de pesos.

CALOR ESPECÍFICO DEL SÓLIDO.

El calor específico es una propiedad térmica de los sólidos que influye en el proceso de secado. Se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de la unidad de peso del sólido considerado en un grado centígrado (Alvarez Noves, Fdez-Golfin, 1992):

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \quad (\text{Ec. 41})$$

siendo: C = calor específico ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), Q = cantidad de calor necesario (cal), m = masa considerada (g) y Δt = variación de la temperatura del sólido ($^\circ\text{C}$).

Según Alvarez Noves y Fdez-Golfin (1992), en la madera, el calor específico es relativamente bajo y depende de la temperatura y del contenido de humedad, siendo prácticamente independiente del peso específico y de la especie de madera.

En el intervalo entre $60\ ^\circ\text{C}$ y $140\ ^\circ\text{C}$, Koch (1972) estableció la siguiente correlación entre el calor específico de la madera seca y la temperatura de la madera:

$$C = 0,2651 + 0,001004 \cdot t \quad (\text{Ec. 42})$$

Esta correlación explica el 95,4 % de los valores observados empíricamente, no obstante es corriente considerar un valor medio para todas las maderas de $0,324\ \text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

No obstante, el valor real del calor específico de la biomasa varía considerablemente con su contenido de humedad. Si se considera que el calor específico del agua es uno, el calor específico de la biomasa húmeda (Ch) será:

$$\text{Ch} = \frac{H + C}{1 + H} + A \quad (\text{Ec. 43})$$

siendo H = humedad (tanto por uno); C = calor específico de la biomasa seca; A = calor específico adicional debido a la energía de las uniones agua-biomasa.

Tabla 1.- Valor del Calor específico adicional debido a la energía de las uniones agua-biomasa.

Valor de A para distintas humedades (H) y temperaturas (t)	t = 29°C	t = 60°C
H = 10%	0,02	0,04
H = 30%	0,04	0,09

3.1.5.- SECADEROS.

El primer secadero industrial descrito en la literatura fue construido en Inglaterra en 1727 (Bueno de las Heras, 1993) y se trataba de un secadero de madera de uso naval. Sin embargo, habría que esperar a 1929 para que comenzara la historia científica del secado con la publicación de “The Drying of Solids” de T.K. Sherwood, que sería la primera contribución importante al análisis físico del secado.

Entre 1929 y 1978, fecha en la que se celebra el Primer Symposium Internacional de Secado en Montreal, las contribuciones en el campo del secado son sólidas pero dispares.

Los equipos de secado forzado se pueden clasificar según distintos criterios, siendo interesante tener en cuenta las características y propiedades físicas del material mojado y el método de transferencia de calor al material mojado (Ciria, 1997).

La transmisión del calor se puede realizar de varias formas:

Convección: En la convección es necesario un medio material para el transporte de energía, siendo en este caso un fluido con libertad de movimiento que en su desplazamiento transporta energía (Bueno de las Heras, septiembre 1994).

El gas caliente (Ciria, 1997) se pone en contacto con la superficie del sólido húmedo teniendo lugar dos efectos, cesión de calor y retirada de agua.

Se dice que el calor se transmite por convección si se da movimiento de traslación de toda o parte de la masa del cuerpo en el que se transmite el calor (Alvarez Noves et al., 1992).

En el secado por convección el aire actúa como agente secante, aportando la energía necesaria. La cantidad de calor (Q en $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) que se cede al sólido por unidad de tiempo y de superficie, se expresa mediante (Alvarez Noves et al., 1992):

$$Q = \alpha \cdot (t_s - t_h) \quad (\text{Ec. 44})$$

Siendo: α = coeficiente de convección aire-madera ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); t_s = temperatura del aire ($^\circ\text{C}$); t_h = temperatura superficial del sólido ($^\circ\text{C}$)

De acuerdo con la Ecuación 44, para que el secado evolucione con rapidez se hace necesario mantener un gradiente térmico ($t_s - t_h$) adecuado.

Conducción: El sólido húmedo se sitúa en un recipiente calentado exteriormente y con una salida para eliminar el vapor (Ciria, 1997).

En la conducción es preciso que haya una diferencia de temperatura entre las zonas contiguas del medio (Bueno de las Heras, septiembre 1994).

El calor se transmite por conducción cuando no existe movimiento de materia en el cuerpo en el que se realiza esta transmisión del calor (Alvarez Noves et al., 1992).

Radiación: En la radiación, el calor es transmitido por superficies radiantes próximas (Ciria, 1997), su uso para el secado es más restringido.

En la radiación la transferencia de energía se realiza en forma de ondas electromagnéticas y el calor se genera *in situ* al interaccionar la onda electromagnética con la materia (Bueno de las Heras, septiembre 1994), la radiación no está ligada a un material que sirva de vehículo de calor.

Todos los cuerpos al calentarse emiten radiaciones de tipo electromagnético cuya velocidad es igual a la de la luz. Este tipo de transmisión del calor recibe el nombre de radiación (Alvarez Noves et al., 1992)

Otros: Corrientes alta frecuencia (secado dieléctrico); descensos temporales de la presión (secado al vacío por pulsaciones)...

Según el método de transferencia de calor al material mojado utilizado los secaderos se pueden clasificar en:

Secaderos directos: (secado por convección).

Secaderos indirectos: (secado por conducción).

EL LÚPULO Y SU SECADO.

El lúpulo pertenece a la familia *Cannabaceae*. Su nombre botánico es *Humulus lupulus* L.

El lúpulo es una planta trepadora y dioica. En los cultivos interesan solamente las plantas femeninas, que se reproducen de forma vegetativa. Las plantas masculinas y femeninas se parecen morfológicamente, distinguiéndose sólo por sus inflorescencias.

La parte subterránea es perenne y la aérea es anual; la cepa y las raíces se encuentran en la tierra, mientras que la parte aérea está compuesta por guías principales y laterales, hojas, flores, conos y frutos.

El proceso biológico del lúpulo se desarrolla en tres períodos:

1.- Período vegetativo: desde la brotación hasta la floración, comprende la brotación, el desarrollo del tallo o guías y formación de guías laterales.

2.- Período generativo: desde la floración hasta la maduración técnica o comercial, comprende la floración, la formación de conos y termina con la maduración comercial de los mismos.

En este período las inflorescencias femeninas se transforman en conos, formados por brácteas y bracteolas, en la base de éstos aparecen las glándulas que contienen lupulina, incluyendo resinas y aceites esenciales, compuestos químicos de cuya cantidad depende la calidad cervecera del lúpulo y su valor comercial.

3.- Período de maduración fisiológica: desde la maduración técnica de los conos hasta la muerte de la parte aérea de la planta, en este último período las sustancias nutritivas de la parte aérea se traslocan a la parte subterránea de la planta antes de finalizar el ciclo vegetativo completo.

Dentro de los procesos de postcosechado del lúpulo cabe comentar el secado.

El secado de lúpulo constituye el proceso más importante de todo la manipulación del mismo. La finalidad del secado es que el lúpulo se mantenga estable y conserve su valor cervecero durante largo tiempo, evitándose las oxidaciones durante el almacenamiento y el ataque de bacterias y hongos (Leskovar, 1978)

Los conos cosechados poseen entre el 70 y el 80 % de humedad, la que durante el proceso de secado se reduce a 8 o 14 %, con un óptimo de 10 % (Robauer, 1977).

Si el lúpulo se seca demasiado se deshace perdiendo así una cantidad considerable de lupulina, y con ella merman también los ácidos amargos. Un secado incompleto trae consigo fermentaciones que, si no se detectan a tiempo, alteran el producto a un punto tal que le hacen perder su valor comercial.

El secado consiste en hacer pasar aire caliente forzado a través de las capas verdes de lúpulo, eliminando el exceso de humedad. Se realiza en secaderos tradicionales de una sola capa de entre 0,40 a 0,60 m.

La duración del proceso depende de la variedad, del tamaño de los conos, del grosor del raquis, del grado de madurez, de las características varietales del cono y del momento en que se efectúa la cosecha así como también de las condiciones ambientales (humedad relativa...) y de las características del secadero: la temperatura interna y

externa, del caudal (o velocidad) del aire, de la altura de la capa de lúpulo. Normalmente el lúpulo se seca en 6 o 8 horas de tratamiento.

Un buen secado influye en la calidad del lúpulo. Existen estudios en los que se intenta obtener la combinación óptima de los factores temperatura-velocidad del aire de secado.

Así las temperaturas de secado estudiadas varían desde los 40°C a los 120 °C, y las velocidades estudiadas varían desde 0,15 m · s⁻¹ hasta incluso 1,27 m · s⁻¹ , en cualquier caso, siempre se corresponden temperaturas altas a velocidades altas y temperaturas bajas a velocidades bajas.

Con altas temperaturas la reducción de la velocidad de secado, es decir, el uso de menor caudal de aire, sería perjudicial porque se produciría un recalentamiento del lúpulo que compromete la calidad del producto (Leskovar, 1978), así como una acumulación de aire húmedo en el interior de la capa de lúpulo. Un incremento de la velocidad excesivo produciría un arrastre indeseado del material.

Como resumen se puede decir que el lúpulo en la provincia de León se seca con una temperatura entre 50°C y 60 °C (“a media temperatura” entre 45 a 65 °C, Nonhebel, 1979) con aire a una velocidad que variaría entre 0,3 m · s⁻¹ hasta 0,5 m · s⁻¹ (Leskovar, 1978).

Las características óptimas que deberían tener las instalaciones de secado de lúpulo en la provincia de León, según el informe técnico efectuado por la Junta de Castilla y León para el proyecto “Estudio sobre el secado del lúpulo” son:

1.- Instalación de salida de humos: el secadero debe tener una salida aparte para los humos de la combustión que en ningún caso se deben mezclar con el aire de secado.

2.- Dimensionado correcto: se deberá diseñar el secadero en función de la producción de la explotación que para las condiciones de cultivo de la provincia de León estará entre (2,5x2,5) m² y (3,5x3,5) m².

Los tipos de secaderos a instalar más aconsejables son:

De bandejas abatibles: es aconsejable que sean tres de manera que el lúpulo se cargue en la superior, donde se secará durante dos o tres horas (en función de la cantidad, espesor de la capa, variedad...) para después pasarlo a la capa intermedia donde continuará el secado durante dos o tres horas más. De aquí se pasará a la inferior donde finalizará el secado.

La altura para un secadero de tres bandejas debe ser como mínimo de ocho metros (aconsejable diez metros).

Con este sistema el volteo, al pasar de una bandeja a otra, se favorece la homogeneización de toda la capa de lúpulo.

De bandeja fija: en este modelo todo el lúpulo se coloca en una única bandeja, aunque este tipo es parecido a los utilizados actualmente, la diferencia radica en la forma de vaciado del secadero. Ésta se debería realizar de forma lateral mediante arrastre con una malla previamente colocada entre el suelo de la bandeja y la capa de lúpulo.

El equipo de calefacción consiste en una caldera u horno, un quemador de gasoil (en León también es utilizada la leña) y un ventilador

Esta clase de secaderos son útiles para casi cualquier material. Su costo operativo es alto debido a que el trabajo requerido es relativamente grande por lo que las producciones son inferiores a $50 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ de material seco (Nonhebel, 1979).

3.- Manipulado correcto del lúpulo: tanto en el vaciado como se reseña anteriormente, como en el llenado, debería ser mediante cintas transportadoras que evitarían tanto el deterioro del producto como el acarreo innecesario de sacos.

También la utilización de una corriente de aire (ventilador y tubos) sería una buena solución, pero en este caso se requeriría un estricto control del caudal del aire, ya que en caso contrario se podría producir una excesiva oxidación durante el transporte y un desmenuzamiento del cono de lúpulo.

El aire es aspirado por el ventilador y circula por las paredes del horno, saliendo de éste caliente y de forma forzada hacia la cámara de secado, donde se expande, atraviesa con una velocidad adecuada las capas de lúpulo y sale por la parte superior, saturado de humedad (Leskovar, 1978).

4.- Control del proceso de secado: para el control de la temperatura se debe colocar un termómetro en el interior de la cámara de aire, para controlar la temperatura de salida del aire del quemador, así como un termostato para controlar la temperatura de la caldera y que accione el quemador para que nunca se sobrepase la temperatura de secado establecida. También se debe controlar la velocidad del aire de entrada al secadero teniendo en cuenta siempre la cantidad de lúpulo introducida.

5.- Correcto acondicionamiento posterior: el lúpulo, una vez seco, y debido a que durante el secado las brácteas se secan más que el raquis, debe pasar un periodo de acondicionamiento (mínimo seis horas) durante el cual la humedad del raquis pasa a las

brácteas, homogeneizándose. Éste acondicionamiento se debe realizar en el exterior de la cámara de secado (actualmente no se hace así por falta de espacio en las instalaciones de secado) y es aconsejable que sea por la noche.

BIOMASA LIGNOCELULÓSICA Y SU SECADO.

La biomasa lignocelulósica suelen presentar contenidos de humedad del orden del 50%. En general se aceptan intervalos de humedades entre el 20% y el 5% como los más adecuados para el aprovechamiento por vía termoquímica.

Las temperaturas de secado que se están experimentando en este tipo de secaderos son desde 90°C hasta 165°C y las velocidades del aire de secado varían entre 1,50 a 2,50 m · s⁻¹ (Ciría, 1997).

Para el secado forzado de biomasa lignocelulósica (Ciría, 1997), los secaderos más utilizados son: de tambor rotatorio, neumático y/o de lecho fluidizado.

Secadero de tambor rotatorio.

Este secadero consiste en un cilindro que gira sobre cojinetes y que generalmente tiene una leve inclinación en relación con el plano horizontal (Nonhebel et al., 1979 y Ciría, 1997). Se trata de secaderos sencillos y versátiles con tiempos de secado desde 5 a 60 minutos y capacidades de secado desde unos pocos cientos de kg por hora hasta 200 t · h⁻¹.

Además del secadero, la instalación debe tener una serie de equipos auxiliares como son calefactores de aire, cámara de combustión, colectores de polvo, ventiladores y sistemas de transporte para la alimentación y salida del producto así como elementos de control y maniobra.

Se pueden clasificar en:

→ Directos: secado por convección.

→ Indirectos: secado por conducción.

Secadero por transporte neumático.

En un secadero por transporte neumático el sólido se seca mientras es arrastrado por una corriente de gas caliente, normalmente aire, estableciéndose un contacto entre el gas y el sólido en condición diluida. La cantidad y la velocidad del gas deben ser suficientes para elevar y transportar los sólidos (Ciría, 1997).

El secado se realiza en el tubo vertical por el que fluye el aire caliente a una velocidad entre 2,5 y 3 m · s⁻¹ mayor que la de la caída libre de las partículas de mayor tamaño de la alimentación húmeda.

En el extremo superior del tubo se recoge el material seco por medio de un ciclón seguido de un filtro de mangas o por un separador electrostático que evita la emisión con el aire efluyente.

El tiempo de residencia en el tubo de secado es del orden de 0,5 a 3,0 segundos por lo que para subsanar este problema la mayoría de los secaderos comerciales disponen de algún sistema de recirculación del material a fin de aumentar el tiempo de residencia medio de las partículas.

Las ventajas de los secaderos neumáticos son (Nonhebel et al., 1979):

1. Tiempo de contacto corto por lo que estos secaderos son buenos para materiales termosensibles.
2. Se pueden utilizar altas temperaturas y bajos flujos de aire, con lo que el rendimiento térmico es alto.
3. El secador transporta al sólido de manera que se evitan los equipos adicionales de transporte.
4. Se requiere poca superficie para su instalación.

Las desventajas son:

1. Es fundamental que la recogida de polvo sea eficiente.
2. Es inadecuado para materiales tóxicos, precisamente por la formación de polvos.
3. En general, las distintas partículas no reciben el mismo tratamiento.

Secaderos de lecho fluidizado.

En estos equipos el gas secante es soplado a través de los pequeños orificios de la placa que soporta al material, a una velocidad suficientemente elevada para provocar la fluidización de las partículas, pero no tan alta como para dar el aspecto de un lecho que “hierve” vigorosamente. Por encima del lecho hay un espacio libre de uno a dos metros de altura que permite a las partículas pequeñas arrastradas volver a depositarse.

El gas de secado abandona el secadero a través de un sistema colector de polvo (por ejemplo un ciclón). Los finos recogidos pueden ser reciclados al lecho o incorporados a la alimentación húmeda.

Es importante la distribución de tamaños de partículas pues si se fluidiza una mezcla de partículas de tamaño distinto, la velocidad de fluidización será muy elevada para algunas partículas, produciéndose el arrastre de las mismas y muy baja para otras, produciéndose la sedimentación. Se deberá evitar la formación de aglomerados y/o la desintegración de partículas.

Las ventajas de estos secaderos son:

1. Son secaderos adecuados para secar materiales de tamaño comprendido entre 0,05 y 15 mm, con pequeña distribución de tamaños.
2. El contacto entre el sólido y el gas de secado es mucho mejor que en cualquier otro tipo de secadero.
3. La transferencia de calor es extremadamente rápida, posibilitando utilizar elevadas temperaturas.
4. La abrasión y rotura de las partículas es pequeña pues están protegidas una de la otra por el efecto de la corriente gaseosa.
5. El tiempo de residencia es pequeño, ventaja importante para materiales termosensibles.
6. Ocupa poca superficie en comparación con otros secaderos que procesen la misma cantidad de producto.

Las desventajas son:

1. El material a secar debe ser apto para fluidizar, pues algunos polvos húmedos pueden formar barros o por el contrario pueden sufrir muchas pérdidas durante el secado.
2. Existe gran incertidumbre sobre el funcionamiento de estos equipos a nivel industrial pues no existe un método de diseño lo suficientemente seguro como para evitar cierto riesgo aun después de efectuar pruebas en secaderos pilotos.
3. Con productos diferentes las velocidades de fluidización deberán ser diferentes.
4. Los ventiladores suponen un gran consumo que contrarrestaría el menor coste de instalación de estos equipos.

3.2.- CARACTERIZACIÓN DE BICOMBUSTIBLES LIGNOCELULÓSICOS.

La caracterización de la biomasa tiene por objeto definir unas características físicas, químicas y energéticas que permiten evaluar su comportamiento en las posibles líneas de utilización posterior.

Los parámetros físicos que se estudian son: densidad aparente y distribución granulométrica.

Las determinaciones químicas que se realizan normalmente son las correspondientes al análisis inmediato (humedad, volátiles, cenizas y carbono fijo) y al análisis elemental (carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno).

También se realiza el análisis de componentes en el que se determina bien componentes principales (celulosa, hemicelulosa y lignina, que suponen aproximadamente el 95% del total), bien componentes secundarios (resinas, grasas, ceras, taninos, colorantes, azúcares, materias minerales...)

Las posibilidades energéticas se evalúan mediante la determinación del poder calorífico.

3.2.1- PARÁMETROS FÍSICOS.

DENSIDAD APARENTE.

En la caracterización de biomasa lignocelulósica solamente se suele considerar la densidad de aquellos residuos que han sufrido una reducción primaria de su tamaño, o que directamente presentan una forma que hace factible tanto determinar su densidad como su distribución granulométrica. La densidad de los residuos dependerá del tipo de residuo, de su forma de presentación y del grado de humedad (González Izquierdo, 1997).

A efectos de cálculos de diseño se puede suponer que la variación de volumen al modificarse la humedad es despreciable.

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.

La granulometría de la biomasa lignocelulósica es fruto de tres factores: tipo de maquinaria utilizada, especie utilizada y parte de dicha especie.

Si se tiene en cuenta que suelen ser materiales fibrosos y, por ello, exentos de homogeneidad en sus tres dimensiones, se obtendrá una distribución de acuerdo con las dos dimensiones menores del residuo (González Izquierdo, 1997).

3.2.2.- ANÁLISIS INMEDIATO.

HUMEDAD.

Aunque su determinación pueda considerarse carente de complejidad, resulta difícil asignar valores determinados a este parámetro, dado el carácter fuertemente higroscópico de la materia vegetal. Los diferentes valores obtenidos son consecuencia del tipo de vegetal, época de corta e historia del residuo hasta su caracterización (González Izquierdo, 1997).

La determinación de la humedad libre se hace teniendo en cuenta la pérdida en peso que el combustible, previamente adaptado (tamaño partícula), experimenta al someterla a 105°C en el interior de una estufa hasta alcanzar peso constante (Norma ASTM D2016-25).

VOLÁTILES.

Las materias volátiles están constituidas por combinaciones de carbono, hidrógeno y otros gases (CEDER, 1983).

El contenido en volátiles se determina calentando la muestra seca sin aire (en atmósfera de N₂), a 955°C en un crisol tapado en el interior de un horno eléctrico de Mufla durante 7 minutos (Norma UNE 32 019 84).

Después de enfriada la muestra en un desecador queda un residuo final que es la suma de carbono fijo más cenizas.

El contenido en materias volátiles es el resultado de realizar la diferencia entre el peso inicial de la muestra y el peso de este residuo final, expresado en base seca o bien en base húmeda (Antolín Giraldo et al., 1989).

El porcentaje en volátiles oscila entre el 65% y el 85% (González Izquierdo, 1997).

CENIZAS.

Por cenizas de un biocombustible se entiende las materias minerales que le acompañan (Antolín Giraldo et al., 1989). Las cenizas reducen el poder calorífico del

combustible y el rendimiento térmico de un horno por interferir en la transferencia de calor. Además su eliminación de los hogares de combustión encarece el proceso.

Las cenizas de un combustible suelen fundir a temperaturas relativamente bajas, formando escorias, que son perjudiciales.

Para determinar el contenido en cenizas de un biocombustible, se introduce la muestra seca en un crisol abierto, en el interior de un horno Mufla a la temperatura de 600°C hasta la calcinación completa (\approx 5 horas) (Norma Tappi T 15m-58). El residuo que permanece en el crisol, después de la combustión, son las cenizas.

El contenido de cenizas en biomásas se sitúa en un intervalo entre el 0,2% y el 5,6%. Dentro de los residuos forestales los serrines y asimilados ofrecen los valores más bajos, generalmente inferiores al 1% (González Izquierdo, 1997).

En el contenido de cenizas en las biomásas tiene gran impacto la manipulación del residuo, al quedar adheridas, durante la misma, una gran cantidad de productos minerales que se reflejan analíticamente como un mayor contenido en cenizas.

CARBONO FIJO.

Se designa como carbono fijo la fracción residual del combustible pirolizado para obtener las materias volátiles, descontadas las cenizas (CEDER, 1983).

La determinación se hace por diferencia a 100 de los porcentajes de cenizas y materias volátiles: %Carbono fijo = 100 - %cenizas - %volátiles, en base seca, o bien restando la humedad si se dan en base húmeda: %Carbono fijo = 100 - %cenizas - %volátiles - %humedad (Antolín Giraldo, 1989).

El carbono fijo en biocombustibles suele oscilar entre el 16% y el 32% (González Izquierdo, 1997).

3.2.3.- ANÁLISIS ELEMENTAL.

El análisis elemental trata de determinar el contenido en elementos simples, generalmente realizado en un analizador elemental. Se puede decir que los contenidos medios en biomásas lignocelulósicas de estos elementos es el siguiente (González Izquierdo, 1997):

Carbono = 46,9% a 54,6% = 50% en base seca.

Hidrógeno = 5,4% a 6,9% = 6% en base seca.

Nitrógeno = 0,2% a 1,0% = 0,5% en base seca.

Azufre = menos de 0,1%.

Oxígeno = 35% a 44% = 41% en base seca.

3.2.4.- ANÁLISIS DE COMPONENTES.

Básicamente se trata de determinar la celulosa, lignina y hemicelulosa contenidas en los biocombustibles en estudio.

La determinación cuantitativa de estos componentes en un vegetal no se puede tomar como valor absoluto para dicha especie, ya que algunos componentes pueden variar de manera apreciable en cuanto a su proporción, dependiendo del área geográfica de procedencia, época del año de la corta, edad del vegetal, parte analizada del mismo, condiciones climatológicas a las que ha estado sometido, forma de almacenamiento, etc...(Antolín Giraldo et al., 1989).

También ha de tenerse en cuenta la norma o procedimiento seguido en la determinación de los componentes, ya que los resultados pueden variar dependiendo del método que se haya empleado, no siendo posible establecer comparaciones.

Antolín Giraldo et al. (1989) en su trabajo “Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicaciones a la paja del cereal”, emplearon para hacer el análisis elemental de cuatro variedades de restos de cereal, las normas vigentes en la División de Análisis Celulósicos de la American Chemical Society, refrendadas en nuestro país por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Dichas normas constan de las etapas siguientes:

1. Preparación de la muestra.
2. Extracción de sales minerales.
3. Determinación de extractos en disolventes orgánicos.
4. Determinación del contenido en lignina.
5. Determinación del contenido en celulosa total.
6. Determinación del contenido en cenizas.
7. Determinación del contenido en pentosanas

3.2.5.- PODER CALORÍFICO.

Dada la importancia de este parámetro, se tratará a fondo en el siguiente apartado.

3.3.- PODER CALORÍFICO.

Los trabajos que existen sobre la determinación de los valores de poderes caloríficos, bien sean de biomasas forestales o agrícolas, son relativamente abundantes y variados, no sólo en cuanto a las especies estudiadas sino también en cuanto al enfoque dado.

A la hora de estudiar los resultados hay una dificultad importante pues no hay valores comparables debido a que casi ningún autor hace referencia al poder calorífico calculado, superior o inferior, ni indica la humedad de la muestra ensayada, ni la parte de la planta o árbol objeto del estudio, ni por supuesto a las condiciones ambientales en la corta y recogida de las muestras, localidad, fecha etc., condiciones todas ellas importantes y otras, como por ejemplo el contenido en humedad, totalmente necesarias para hacer comparables los resultados.

Según Gimeno Pérez (1989) si se distingue bien entre poder calorífico superior e inferior y se reseña la humedad de la muestra, los valores que dan distintos investigadores para una misma especie son muy similares y equiparables.

3.3.1.- CONCEPTO DE PODER CALORÍFICO.

Una definición de poder calorífico considerada como clásica fue la dada por Kollman (1959). Para este autor el poder calorífico es “el calor desprendido por un kilogramo de combustible en combustión completa a la presión constante de $1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ a cuyo efecto son enfriados de nuevo los productos de la combustión hasta la temperatura de partida (0°C)”.

Este mismo autor dice que el calor de combustión se refiere a la temperatura del gas desprendido del calorímetro y que su diferencia con el poder calorífico es insignificante. En este punto como se puede ver se confunde calor con temperatura, conceptos que en termodinámica son muy diferentes.

Kollman (1959) afirma que hay que conceder especial consideración a aquellos combustibles que contienen hidrógeno y humedad, pues en sus gases de combustión se encuentra agua, cuyo estado de agregación influye en el cálculo del valor del poder calorífico. Como los gases desprendidos suelen estar a más de 150°C , contienen agua en estado de vapor, de modo que el calor de combustión utilizable se ve disminuido en el calor de vaporización del agua.

Hay que distinguir dos casos límite, según se suponga toda el agua de combustión en forma líquida o de vapor; es decir un poder calorífico superior referido al agua líquida, y otro poder calorífico inferior referido al agua en forma de vapor. En todos los procesos industriales interesa sólo el poder calorífico inferior porque el calor de condensación del vapor de agua contenido en los gases de la combustión no resulta utilizable.

Pérez del Notario (1966) distingue también entre poder calorífico superior e inferior según el agua producida en la combustión se presente en forma líquida o gaseosa respectivamente, siendo la diferencia entre ellos el calor de evaporación del agua.

Lieth (1968) propone una serie de condiciones en la combustión del combustible para dar la definición de poder calorífico:

- que tanto el combustible como los productos de la combustión permanezcan a la misma temperatura, 20 °C.
- que el agua, tanto la presente en el combustible como la formada en la combustión, se encuentre en estado líquido.
- que los productos originados por la combustión del carbono y del azufre estén presentes solamente en forma de dióxido de carbono y de dióxido de azufre (los dos en estado de gas).
- que no se oxide el nitrógeno.

Elvira Martín et al. (1982) señala que la madera al arder desprende vapor de agua procedente, por una parte, de la unión del hidrógeno de la celulosa y del oxígeno del aire, es decir, como producto resultante de la combustión y por otra parte, por evaporación del agua contenida y de constitución de la madera. En este proceso de vaporización del agua se absorbe calor a costa del propio calor producido en la combustión.

En cualquier caso para un contenido de humedad de 0% el poder calorífico superior e inferior son semejantes, difiriendo tan sólo en el calor de condensación del agua formada durante el proceso de combustión.

Por otra parte las cenizas producidas pueden arder nuevamente si son sometidas a una fuente de calor de mayor temperatura.

Así este autor distingue tres poderes caloríficos:

- Poder calorífico práctico: que es la cantidad de calor que desprende 1 gramo de materia seca.
- Poder calorífico inferior: es el anterior más el calor desprendido por sus cenizas.
- Poder calorífico superior: es el anterior más el calor cedido por el agua evaporada al condensarse.

Se deduce que el poder calorífico inferior será menor que el superior pues el calor necesario para evaporar el agua se consume en este proceso escapando a la atmósfera. Cuanta más humedad contenga la materia más bajo será el poder calorífico inferior.

También según este autor a efectos prácticos es el poder calorífico inferior el que hay que considerar y el poder calorífico superior se utilizaría para hacer comparaciones entre materiales distintos pues, en este caso, se debe hacer el balance total de calor en el que se incluiría el calor de condensación del agua.

El IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético, 1982) define el calor de combustión de una sustancia como el calor desprendido cuando se convierte en sus productos finales de oxidación por medio del oxígeno molecular.

Este instituto señala tres valores para el calor de combustión:

- Calor de combustión estándar: es el cambio de entalpía que tiene lugar en la combustión de una sustancia en el estado en el que se encuentra a 25 °C y 760 mm Hg de presión, comenzando y terminando la combustión a dicha temperatura.
- Calor de combustión bruto: idéntico al anterior pero con una temperatura de 15,5 °C. En ambos, el estado del agua formada en la combustión es líquido.
- Calor de combustión neto: que es igual al bruto pero el agua formada en la combustión se encuentra en estado gaseoso.

El CEDER (Centro de Estudios de la Energía, 1983) continúa en la línea de los autores anteriores y dice que el poder calorífico de un combustible es su calor de combustión referido a la unidad de masa, que en la práctica industrial suele ser el kilogramo.

Como la determinación del poder calorífico se suele realizar en la bomba calorimétrica, los productos de la combustión quedan a temperatura ambiente, así el vapor de agua formado se condensará cediendo un calor latente de condensación al agua del calorímetro (poder calorífico superior)

En la práctica industrial el agua no se condensa, por tanto el poder calorífico en estas condiciones será menor que el determinado en el calorímetro (poder calorífico inferior).

J.A. de Andrés et al. (1983), añaden algo nuevo a todas estas definiciones y es que este autor señala que, aunque se diga que el combustible cede al quemarse en un horno industrial, una cantidad de calor equivalente a su poder calorífico inferior, se debería de descontar de éste el calor sensible que se pierde por la chimenea debido a la salida de los humos calientes (a temperaturas mayores de 100°C) y que depende del calor específico y de la temperatura de salida de los mismos.

Marcos Martín et al. (1986), proponen una matización importante a la definición dada por Kollman y es que la obtención de poderes caloríficos se realiza en combustiones completas pero a volumen constante y no a presión constante; y que la presión del oxígeno en la bomba calorimétrica no es de $1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ sino de $20 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Este autor distingue por tanto los siguientes conceptos:

- Poder calorífico superior: llamado calor de combustión superior (norma UNE 23-103-78, correspondencia con la norma ISO 1716-73) es el calor desprendido por un kilogramo de biomasa forestal que se mide en bomba calorimétrica, la combustión se realiza a volumen constante. El agua de combustión es recogida en forma líquida. Su valor depende de la humedad de la muestra.
- Poder calorífico inferior: es el calor desprendido por un kilogramo de biomasa forestal, en una combustión en la que el agua libre, de constitución, fibrilar e interfibrilar se libera en forma de vapor. Si este agua se condensara desprendiendo calor, se obtendría el poder calorífico superior.
- Poder calorífico real o efectivo: que es el poder calorífico inferior pero teniendo en cuenta el rendimiento de la combustión, que a efectos prácticos, suele ser de 0,85.

El British Standard Institution (Instituto Británico para la Normalización, 1961) distingue dos tipos de poder calorífico:

- Poder calorífico bruto (Gross calorific value): el calor liberado cuando el material se combustiona completamente hasta dar CO_2 y agua líquida a 25 °C.
- Poder calorífico neto (Net calorific Value): calor liberado cuando el combustible se combustiona completamente hasta dar CO_2 y vapor de agua, teniendo, los gases expulsados, una temperatura próxima a los 100 °C.

La norma INTA 150229C (correspondencia con ASTM D240-68) titulada “Calor de combustión de combustibles líquidos (método de la bomba calorimétrica)” define:

- Calor Bruto de Combustión: como el calor liberado por la combustión de la unidad de masa de combustible, a volumen constante, condensándose prácticamente todo el agua formada en estado líquido.
- Calor Neto de Combustión: como el calor liberado por la combustión de la unidad de masa de combustible, a presión constante de una atmósfera, permaneciendo el agua formada en estado gaseoso. El calor neto se obtiene por cálculo a partir del calor bruto determinado en bomba calorimétrica.

La norma ISO 1928-76 titulada “Combustibles minéraux solides-Determination du pouvoir calorifique supérieur selon la méthode à la bombe calorimétrique, et calcul du pouvoir calorifique inférieur” define:

- Poder Calorífico Superior a volumen constante (pouvoir calorifique supérieur à volume constant): número de unidades de calor obtenidas por la combustión de la unidad de masa de combustible sólido, en una atmósfera de oxígeno, en el interior de una bomba calorimétrica, en condiciones normalizadas; los productos residuales son oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, agua líquida en equilibrio con su vapor y saturada de dióxido de carbono y de cenizas sólidas.
- Poder Calorífico Inferior a volumen constante (pouvoir calorifique inférieur à volume constant): número de unidades de calor obtenidas si la unidad de masa de combustible sólido es quemado en una atmósfera de oxígeno, en condiciones de volumen constante; los productos residuales son oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, vapor de agua y cenizas, todo a 25 °C.
- Poder Calorífico Inferior a presión constante (pouvoir calorifique inférieur à pression constant): número de unidades de calor obtenidas si la unidad de masa de combustible sólido es quemado en una atmósfera de oxígeno, en condiciones de presión constante; los productos residuales son oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, vapor de agua y cenizas, todo a 25 °C.

La norma ASTM D2382-83 titulada “Heat of Combustion of Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (High precision method)” define:

- Poder Calorífico Bruto (Gross calorific Value) a volumen constante de un combustible líquido o sólido que contiene solamente carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre es la cantidad de calor liberado cuando la unidad de masa de

combustible es quemado en oxígeno, siendo los productos de la combustión dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua líquida con una temperatura inicial y final de 25 °C.

- Poder Calorífico Neto (Net Calorific Value): de un combustible líquido o sólido que contiene solamente carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre es la cantidad de calor liberado cuando la unidad de masa de combustible es quemado en oxígeno, a una presión constante de 0,101 MPa (1 atm), siendo los productos de la combustión: dióxido de carbono, dióxido de azufre y agua, toda en estado gaseoso, con una temperatura inicial y final de 25 °C.

La norma ASTM D 2015-85 titulada “Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter” define:

- Poder Calorífico Bruto (Gross Calorific Value) como el calor producido por combustión de la unidad de masa del combustible sólido, a volumen constante, en una bomba calorimétrica de oxígeno, bajo condiciones especificadas permaneciendo el agua en estado líquido.

- Poder Calorífico Neto (Net Calorific Value) es un valor menor calculado a partir del anterior, equivalente al calor producido por la combustión de la unidad de masa del combustible sólido a presión constante, bajo condiciones especificadas permaneciendo el agua en estado gaseoso.

Resumiendo lo dicho anteriormente se puede afirmar que a lo largo de los años han surgido matizaciones sobre la definición de poder calorífico dada por Kollman (1959), las más importantes son:

1.- Diferenciación entre poder calorífico superior e inferior, siendo el superior el determinado en bomba calorimétrica en laboratorio a volumen constante y el inferior el realmente obtenido en calderas de combustión a presión constante (generalmente atmosférica) (Doat, 1977).

2.- Por esta misma circunstancia de la diferencia en el modo de obtención de estos dos poderes caloríficos, el agua (tanto la que tiene el propio combustible debido a su humedad, como el agua que se forma durante la combustión por asociación del hidrógeno de la celulosa y del oxígeno del aire) se presenta de dos formas diferentes: en estado líquido, en la combustión a volumen constante y en estado gaseoso, en la combustión a presión constante.

Por esta razón el poder calorífico inferior se ve reducido frente al superior en el calor de vaporización del agua.

3.- En algunas definiciones dadas se hace referencia a los productos residuales de la combustión, mereciendo especial mención la obtención de óxido nítrico y dióxido de azufre, componentes ambos que darán lugar a posteriores correcciones del poder calorífico superior obtenido en la bomba calorimétrica.

La razón de estas correcciones es que en el ambiente de alta presión (30 at) que hay en el interior de la bomba, el nitrógeno existente en el material introducido como muestra se oxida a óxido nítrico (N_2O_5) y combinado con el agua forma ácido nítrico (HNO_3).

El calor de formación del ácido nítrico ($14,1 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$), en condiciones normales de combustión, no se produce y como es artificialmente generado es necesario corregirlo.

De igual forma el azufre presente en la muestra se oxida a anhídrido sulfúrico (SO_3) y pasa a ácido sulfúrico (H_2SO_4), con un desprendimiento de calor ($72,2 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$). La corrección de azufre elimina este calor artificial que no se produciría en una combustión normal a presión atmosférica constante.

3.3.2.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL VALOR DEL PODER CALORÍFICO DE UN BIOCOMBUSTIBLE.

HUMEDAD.

La humedad es la característica que condiciona de una manera más notable el aprovechamiento energético de los biocombustibles, ya que su presencia:

- ✓ disminuye el valor del poder calorífico.
- ✓ disminuye el rendimiento de la caldera
- ✓ aumenta la emisión de partículas.

Como ya se comentó el contenido de humedad de cualquier biocombustible puede darse referido respecto a su peso húmedo o respecto a su peso seco.

En la combustión en calderas industriales esta humedad se evapora absorbiendo energía que se pierde por las chimeneas, salvo que existan sistemas de reconversión de los gases de la combustión (Antolín Giraldo et al., 1989).

Para valores inferiores al 30% de humedad se suelen obtener buenos rendimientos en la combustión. Para porcentajes del 60% la combustión resulta inestable y por encima del 85% todo el calor generado se invierte en secar la biomasa, por lo que no hay producción de calor utilizable (Ortiz Torres, 1998).

Por otra parte cuanto mayor es el contenido en humedad se precisa una mayor cantidad de aire para la combustión y se produce gran cantidad de gases, así como mayor cantidad de hollines e inquemados (Ortiz Torres, 1998).

DENSIDAD.

El poder calorífico se expresa generalmente como una relación entre la cantidad de energía por unidad de peso ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$), pero también se puede expresar como la relación entre la energía por unidad de volumen ($\text{cal} \cdot \text{m}^{-3}$), a esta última relación se la suele llamar poder calorífico específico (Doat, 1977).

Resulta evidente que cuando el poder calorífico viene expresado en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$, la relación con el parámetro densidad es escasa o nula, pero cuando se expresa en $\text{cal} \cdot \text{m}^{-3}$, el coeficiente de correlación con el parámetro densidad es muy alto.

Si se queman residuos y la unidad utilizada es el volumen, interesará adquirir unos residuos más densos que producirán más calorías por m^3 , pues en definitiva tendremos más gramos en menos volumen, cuestión ésta que repercutirá en el tamaño de la caldera utilizada

COMPOSICIÓN ELEMENTAL.

Como ya se comentó los contenidos medios de los compuestos elementales en biomásas son los siguientes (González Izquierdo, 1997):

Carbono = 50% en base seca.
Hidrógeno = 6% en base seca.
Nitrógeno = menos del 1% en base seca.
Azufre = menos de 0,1%.
Oxígeno = 41% en base seca.

El poder calorífico de la biomasa lignocelulósica aumenta con el contenido en carbono e hidrógeno y disminuye con el contenido en oxígeno, afirmación que se confirma con la fórmula de Dulong para obtener el calor de combustión (o poder calorífico superior) H_0 : $H_0 = 8100 \cdot C + 34000 \cdot (h - O/8) + 2500 \cdot S$ ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$), siendo: C, h, O y S las proporciones en peso del contenido en carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre, respectivamente.

Por otra parte cabe comentar que en la combustión, el hidrógeno de la biomasa se combina con el oxígeno del aire (una parte de hidrógeno por cada ocho partes de oxígeno) y forma agua, que se evapora, absorbiendo energía, que se pierde por la chimenea: por lo tanto cuánto más hidrógeno tenga la materia, mayor cantidad de vapor de agua se formará, reduciendo así el poder calorífico.

COMPOSICIÓN MOLECULAR.

Los tres componentes principales del tejido vegetal lignocelulósico utilizado para la combustión son la celulosa, hemicelulosa y lignina.

Estos tres componentes poseen un parecido contenido en hidrógeno ($\approx 6\%$) pero se diferencian en su contenido en carbono: lignina $\approx 70\%$, celulosa $\approx 45\%$, hemicelulosa $\approx 40\%$, por lo que su influencia en el valor del poder calorífico será diferente:

De hecho el poder calorífico de coníferas y frondosas es distinto y esta diferencia se puede explicar por la distinta composición molecular que presentan (Gimeno Pérez, 1989).

OTROS.

A modo de reseña se comenta el estudio realizado por Gimeno Pérez (1989) en el que estudió el poder calorífico de todas las especies del género *Quercus*, concluyó que la relación entre el poder calorífico y distintos factores estudiados era:

Parte del árbol considerada: el poder calorífico de la corteza es siempre (excepto para el *Q. suber*) menor que para el tocón y el fuste, no existiendo diferencias significativas entre el tocón y el fuste.

Época del año de la corta: es mayor el poder calorífico de especies cortadas en primavera y verano que las cortadas en invierno u otoño.

Localidad geográfica: este factor tiene una influencia mínima sobre el poder calorífico, sobre todo si se compara con la influencia de los dos factores anteriores.

3.3.3.- MÉTODOS Y FÓRMULAS PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO.

MÉTODO DIRECTO.

Para la determinación del poder calorífico superior de un biocombustible se emplea generalmente el calorímetro o bomba calorimétrica.

Esencialmente un calorímetro consiste en un recipiente de acero inoxidable de cierre hermético, bomba calorimétrica, que permite hacer llegar a su interior, mediante dos electrodos, una corriente eléctrica que atraviesa un alambre fusible en contacto con una pastilla del combustible a ensayar, de aproximadamente un gramo de masa. Dicha pastilla se encuentra situada en una cápsula de combustión suspendida de la tapa de la bomba mediante un soporte.

Mediante una válvula, situada en la cabeza de la bomba, se introduce oxígeno hasta alcanzar una presión entre 20 a 30 atmósferas. La bomba se coloca dentro de una cubeta con agua con una temperatura de 30°C, que se deposita en el seno del calorímetro, aislado del exterior mediante una camisa de agua de temperatura fija (35°C) o no, según sea el tipo de calorímetro empleado, que evita las pérdidas de calor al exterior.

Al hacer llegar la corriente al hilo, éste funde y se quema la pastilla de combustible, cediendo su calor de combustión, a través de las paredes de la bomba, al agua de la cubeta, de forma que midiendo el incremento de temperatura de ésta, se puede determinar el poder calorífico superior del combustible.

Para ello, previamente hay que realizar el estandarizado del sistema, para determinar la Energía Equivalente ($\text{kcal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) del mismo, es decir, la energía necesaria para elevar la temperatura del equipo un grado.

Existen diferentes tipos de calorímetros: los isotérmicos, los adiabáticos y los isoperibólicos.

El método isoperibólico para la determinación del Poder Calorífico Superior se basa en que la camisa del calorímetro se mantiene a temperatura constante, mientras que el calor generado en la combustión de la muestra eleva la temperatura de la cubeta y de la bomba.

El pequeño flujo de calor entre la cubeta y su entorno es registrado por el microprocesador que determina continuamente el efecto de cualquier intercambio de calor y aplica la corrección adecuada continuamente.

Este método difiere del isotérmico, en el que hay que ir leyendo continuamente la elevación de temperatura de la cubeta para determinar esa transferencia de calor entre ésta y la camisa y así aplicar la corrección adecuada.

En el método adiabático la temperatura de la camisa NO es constante y ha de ir ajustándose para alcanzar la temperatura de la cubeta para que así no exista transferencia de calor y evitar el tener que aplicar la corrección.

Con este aparato se determina el poder calorífico superior (a volumen constante) y después aplicando diferentes expresiones, según el autor que las proponga, se podrá conocer el poder calorífico inferior.

Kollman (1959), en su obra “ Tecnología de la madera y sus aplicaciones” propone la siguiente expresión:

$$H_u = H'_0 - 600 \cdot (x + 9h') \quad (\text{Ec. 45})$$

siendo: H_u = poder calorífico inferior ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$); H'_0 = poder calorífico superior (en base húmeda) ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$); x = humedad de la muestra en base húmeda (tanto por uno); h' = proporción de hidrógeno (base húmeda).

Como se puede observar, Kollman, para obtener el inferior, reduce el poder calorífico superior en el calor de vaporización del agua (teniendo en cuenta tanto el agua contenida en la muestra, a causa de su humedad, como el agua formada en la combustión por la existencia de hidrógeno).¹

Kollman tiene en cuenta que:

$$x = \frac{u}{1 + u} \quad (\text{Ec. 46})$$

$$h' = \frac{h}{1 + u} \quad (\text{Ec. 47})$$

siendo: u = humedad de la muestra en base seca (tanto por uno); h = proporción de hidrógeno (base seca).

¹ Kollman supone un calor latente de vaporización del agua de $600 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$. Asimismo considera que 2 gramos de hidrógeno originan 18 gramos de agua (H_2O).

Y por lo tanto se puede decir que:

$$H'_0 = H_0 \cdot (1 - x) = \frac{H_0}{1 + u} \quad (\text{Ec. 48})$$

siendo: H_0 = poder calorífico superior (en base seca) ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Elvira Martín et al. (1982) tienen en cuenta el calor de las cenizas del combustible y así se tiene que:

$$\text{p.c.i.} = \text{p.c.p.} + Q_{\text{cenizas}}. \quad (\text{Ec. 49})$$

$$\text{p.c.s.} = \text{p.c.i.} + Q_{\text{agua}} = \text{p.c.p.} + Q_{\text{cenizas}} + Q_{\text{agua}} \quad (\text{Ec. 50})$$

Por otra parte supone que el vapor de agua desprendido en la combustión posee una temperatura de 200°C y que se condensa hasta una temperatura de 20°C , con lo que si el calor específico del vapor de agua es $0,48 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, del agua líquida es $1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ y el calor latente de vaporización (a 100°C) se considera $537 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$, se tiene:

$$Q = 100^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ kg} \cdot 0,48 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} + 537 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 1 \text{ kg} + 80^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} = 665 \text{ kcal}. \quad (\text{Ec. 51})$$

Así, según este autor se tiene:

Poder calorífico superior:

$$\text{PCS(H)} = (Q_0 + Q_1) \cdot \frac{100}{100 + H} + 665 \cdot (H + \frac{g}{10}) \cdot (\frac{1000}{100 + H}) \quad (\text{Ec. 52})$$

Poder calorífico inferior:

$$\text{PCI(H)} = (Q_0 + Q_1) \cdot \frac{100}{100 + H} \quad (\text{Ec. 53})$$

Poder calorífico práctico:

$$\text{PCP(H)} = Q_0 \cdot \frac{100}{100 + H} \quad (\text{Ec. 54})$$

siendo: Q_0 = kcal desprendidas por cada kg de materia anhidra; Q_1 = kcal desprendidas por sus cenizas; g = gramos de agua que se forman al arder un kilogramo de materia seca; H = humedad (%) en base seca.

El Centro de Estudios de la Energía (1983) supone que el calor cedido al agua en la condensación del vapor es igual a $597,2 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ de agua formado (medido a 0°C) y de $585 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ (medido a 20°C), diferencia con respecto a Kollman (1959) aunque sí supone, al igual que éste, que 2 gramos de hidrógeno dan lugar a 18 gramos de agua.

La expresión que propone este Centro es:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 5,85 \cdot (9 \cdot \%H + \%Humedad) \quad (\text{Ec. 55})$$

siendo: PCI = poder calorífico inferior ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$); PCS = poder calorífico superior ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$); %H = contenido de hidrógeno del combustible (%); %Humedad = contenido de humedad del combustible (%).

Un inconveniente de esta expresión es que no se define si los parámetros están en base seca o húmeda.

Villegas Ortiz (1988) y Gimeno Pérez (1989) con una recopilación de expresiones dadas por distintos autores a lo largo de los años y en un intento de aclarar cuestiones como la base de cálculo de cada uno de los parámetros, utilizaron en todas sus determinaciones las siguientes expresiones:

Obteniéndose en calorímetro el PCS (en base húmeda) se calcula:

$$\text{PCS}(0) = \frac{\text{PCS}}{1 - \text{Hh}} \quad (\text{Ec. 56})$$

El poder calorífico inferior para una humedad en base seca dada (Hs) será:

$$\text{PCI}(\text{Hs}) = \frac{\text{PCS}(0)}{1 + \text{Hs}} - \frac{665}{1 + \text{Hs}} \cdot (0,54 + \text{Hs}) \quad (\text{Ec. 57})$$

El poder calorífico inferior anhidro será:

$$\text{PCI}(0) = \text{PCS}(0) - 359,1 \quad (\text{Ec. 58})$$

El poder calorífico inferior para una humedad en base húmeda dada (Hh) será:

$$\text{PCI}(\text{Hh}) = \text{PCS}(0) \cdot (1 - \text{Hh}) - 665 \cdot (1 - \text{Hh}) \quad (\text{Ec. 59})$$

siendo: PCS(0) (kcal · kg⁻¹) = poder calorífico superior de la muestra anhidra; PCI(Hs) (kcal · kg⁻¹) = poder calorífico inferior en base seca; PCI (Hh) (kcal · kg⁻¹) = poder calorífico inferior en base húmeda; PCI(0) (kcal · kg⁻¹) = poder calorífico inferior anhidro; Hh = humedad en base húmeda (tanto por uno); Hs = humedad en base seca (tanto por uno).

En estas expresiones anteriores se considera que el combustible a quemar es biomasa y por lo tanto se supone un contenido de hidrógeno del 6%.

El IDAE (1993), propone las siguientes expresiones para calcular el Poder calorífico inferior (PCI) en kcal · kg⁻¹, a partir del poder calorífico superior (PCS) en kcal · kg⁻¹, obtenido en calorímetro:

$$PCI = PCS \cdot (1 - h') - 269 \cdot h' - 316 \quad (\text{Ec. 60})$$

$$PCI = \frac{PCS - 585 \cdot (h + 0,54)}{(1 + h)} \quad (\text{Ec. 61})$$

siendo: h = humedad de la muestra en base seca (tanto por uno); h' = humedad en base húmeda (tanto por uno).

Este Organismo considera un valor del calor latente de vaporización de 585 kcal · kg⁻¹ y un contenido de hidrógeno en los biocombustibles del 6%, así las anteriores expresiones no son más que variaciones de forma, que no de fondo, con respecto a las dadas por Villegas Ortiz (1988) y Gimeno Pérez (1989).

MÉTODOS INDIRECTOS.

Expresiones basadas en la composición elemental.

Kollman (1959), en su libro “tecnología de la madera y sus aplicaciones”, dijo que no es posible, como en otros compuestos químicos, hacer un cálculo exacto del poder calorífico a partir de la composición elemental porque para la separación de los compuestos siempre hace falta una cantidad de calor positiva o negativa. Por eso, la fórmula de Dulong sólo da valores aproximados para el calor de combustión (o poder calorífico superior) H₀²:

$$H_0 = 8100 \cdot C + 34000 \cdot (h - O/8) + 2500 \cdot S \quad (\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (\text{Ec. 62})$$

² La fórmula es conocida también como “Verbandsformel”, pues fue aceptada por las Sociedades “Verein Deutscher Ingenieure” y “Internationalen Verband der Dampfkessel-überwachungsvereine”.

siendo: C, h O y S las proporciones en peso del contenido en Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Azufre, respectivamente. Como la madera no contiene azufre (S = 0), el último término puede desaparecer.

Esta expresión de Dulong es comentada también por la investigadora francesa Doat (1977), así como la siguiente expresión de Laut:

$$PCS = 81,7 \cdot C + 342,5 \cdot H - 36,6 \cdot O \text{ (kcal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad \text{(Ec. 63)}$$

siendo: C, H y O, el porcentaje de Carbono, Hidrógeno y Oxígeno respectivamente.

Antolín Giraldo et al. (1989) en su publicación “Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal” hace referencia a la expresión de Kollman aunque con ciertas variaciones:

$$PCS_0 \text{ (kcal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} = 80,8 (\%C) + 344 (\%H - (\%O/8)) + 22,2 \cdot \%S \quad \text{(Ec. 64)}$$

Este autor señala que existen correlaciones en las que sólo se tienen en cuenta el porcentaje de carbono de los combustibles:

$$PCS_0 \text{ (kcal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} = 94,19 (\%C) + 55,01 \text{ (Shafizadeh et al. (1976))} \quad \text{(Ec. 65)}$$

$$PCS_0 \text{ (kcal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} = 104,34 \cdot (\%C) - 73 \text{ (Tillman (1978))} \quad \text{(Ec. 66)}$$

En la Tabla 2 se reflejan los resultados de poder calorífico, para distintas variedades de restos de cereal, obtenidos con calorímetro y los valores obtenidos con cada una de las tres ecuaciones anteriores a partir de su composición elemental. Se reflejan, asimismo, el tanto por ciento de desviación entre ambos valores:

Tabla 2.- Comparación entre los resultados de poder Calorífico Superior para restos de cereal obtenidos en calorímetro y a través de ecuaciones en función de su composición elemental.

Variedad	Ec nº 64		Ec nº 65		Ec nº 66		PCS (con calorímetro)
		%s		%s		%s	
Trigo	4617	6,2	4564	4,9	4922	13,2	4349
Cebada cervecera	4783	11,1	4614	7,2	4977	15,6	4306
Cebada Caballar	4629	6,6	4574	5,4	4933	13,6	4341
Centeno	4712	4,4	4772	5,7	5152	14,1	4515

Fuente: “Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal” Antolín (1989).

Expresiones basadas en el análisis inmediato.

J.A. de Andrés (1983) recoge una expresión de Goutal para calcular el PCS, siempre que se pueda conocer el porcentaje de materias volátiles y de carbono fijo (se suele aplicar a combustibles sólidos):

$$\text{PCS} = 82 \cdot C + a \cdot V \text{ (kcal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad \text{(Ec. 67)}$$

siendo: C = porcentaje de carbono fijo, a = coeficiente que varía con el tanto por ciento de materias volátiles del combustible, supuesto sin cenizas, V = porcentaje de materias volátiles.

El principal inconveniente de esta fórmula estriba en la inexactitud en la determinación del porcentaje de carbono fijo y de las materias volátiles, el valor del poder calorífico que se determina así es sólo aproximado, aunque El Centro de Estudios de la Energía (1983) no atribuye un error superior al 1,5% a la expresión anterior.

Este mismo Organismo presenta las siguientes expresiones en la que se pueden deducir el tanto por ciento de hidrógeno y el tanto por ciento de carbono a partir del poder calorífico superior y del tanto por ciento de materias volátiles:

$$\%H = 0,069 \cdot (\text{PCS}/100 + \%MV) - 2,86 \quad \text{(Ec. 68)}$$

$$\%C = 0,59 \cdot (\text{PCS}/100 - 1,1 \cdot \%MV/3) + 43,4 \quad \text{(Ec. 69)}$$

siendo: %C = porcentaje de carbono, %H = porcentaje de hidrógeno, %MV = porcentaje de materiales volátiles, PCS = poder calorífico superior.

Expresiones basadas en el análisis térmico.

Antolín Giraldo (1989) señala que mediante las curvas ATD (Análisis Térmico Diferencial) en aire es posible determinar el poder calorífico de una sustancia PCT (Poder calorífico de Termobalanza), si bien, debe tenerse en cuenta que las condiciones de operación del proceso de análisis con termobalanza son distintas que con bomba calorimétrica.

El método de trabajo es en esta técnica dinámico, realizándose los ensayos dentro de un intervalo de temperaturas y el agua de combustión se elimina en forma de vapor, mientras que el método clásico del calorímetro, determina el poder calorífico de los combustibles a una temperatura fija y el agua originada se recoge en forma líquida en la bomba de oxígeno.

Los valores de poder calorífico obtenidos con calorímetro y con termobalanza son diferentes, tanto más cuanto menor es el contenido en cenizas del combustible estudiado.

Sancho (1984) propone la siguiente expresión para obtener el poder calorífico superior a partir del poder calorífico de termobalanza:

$$PCS (\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}) = PCT (\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}) + A \cdot (\%C - \%C_0) + B \cdot \%H + D \quad (\text{Ec. 70})$$

siendo: $\%C_0 = 45$, $A = 18 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, $B = 248 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, $D = -150 \cdot (1 - (\%Ce/100)) \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, $\%C$ = porcentaje de contenido en carbono, $\%H$ = porcentaje de contenido en hidrógeno, $\%Ce$ = porcentaje de contenido en cenizas.

En la Tabla 3 se reflejan los resultados de poder calorífico, para distintas variedades de restos de cereal, obtenidos con calorímetro (B) y con termobalanza, aplicando la ecuación nº 70 (A). Se reflejan, asimismo, el tanto por ciento de desviación entre ambos valores, observándose que es mayor cuanto menor contenido en cenizas tengan los restos considerados:

Tabla 3.- Comparación entre los resultados de poder Calorífico Superior para restos de cereal obtenidos en calorímetro y en función del Poder calorífico de termobalanza.

Variedad	A: Ec nº 70	B: PCS (con calorímetro)	%desviación (A-B)·100/A	%Ce
Trigo	4103,4	4349	5,64	6,52
Cebada cervecera	3973,9	4306	7,71	5,25
Cebada Caballar	3785,6	4341	12,79	4,18
Centeno	3361,4	4515	25,55	1,93

Fuente: “Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal” Antolín (1989).

Expresiones basadas en el análisis de componentes.

También el poder calorífico de sólidos puede estimarse teóricamente mediante fórmulas que tienen en cuenta la proporción de sus componentes individuales, así según Soler Andrés et al. (1981) comentan la expresión dada por Tillman (1978) siendo ésta:

$$PCS_0 (\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}) = (41,77 \cdot (\%celulosa) + 63,7 \cdot (100 - \%celulosa)) \quad (\text{Ec. 71})$$

Si se tienen en cuenta los extraíbles se tiene la siguiente expresión dada por Shafizadeh et al. (1976) y utilizada para sus trabajos por Soler Andrés (1981) y Antolín Giraldo (1989):

$$PCS_0 (\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}) = 41,43 \cdot (\%celulosa) + 63,71 \cdot (\%lignina) + 77 \cdot (\%extraíbles) \quad (\text{Ec. 72})$$

En la Tabla 4 se reflejan los resultados de poder calorífico, para distintas variedades de restos de cereal, obtenidos con calorímetro y los valores obtenidos con cada una de las dos ecuaciones anteriores a partir de su análisis de componentes. Se reflejan, asimismo, el tanto por ciento de desviación entre ambos valores:

Tabla 4.- Comparación entre los resultados de poder Calorífico Superior para restos de cereal obtenidos en calorímetro y a través de ecuaciones en función de sus componentes.

Variedad	Ec n° 71		Ec n° 72		PCS (con calorímetro)
		%s		%s	
Trigo	5215	19,9	4005	-7,9	4349
Cebada cervecera	5027	16,7	4085	-5,1	4306
Cebada Caballar	5082	17,1	3983	-8,2	4341
Centeno	5108	13,1	4096	-9,3	4515

Fuente: “Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal” Antolín (1989).

3.3.4.- TRABAJOS REALIZADOS SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.

Soler Andrés et al., en 1981, realizó la “caracterización de residuos agrícolas del sureste español como biomásas energéticas”. Para ello estudió:

1. El contenido de humedad en el momento de la recolección.
2. El contenido en cenizas.
3. El contenido en lignina y celulosa.
4. El contenido en Carbono, Nitrógeno e hidrógeno (análisis elemental).
5. El análisis térmico en termobalanza.
6. La determinación de lo que ellos llamaron la potencia calorífica superior (poder calorífico superior en bomba calorimétrica)

Los materiales estudiados fueron:

1. Tallos de algodón (*Gossypium herbaceum*) que se cortan y arrancan tras la recogida de la fibra, y que integran tallos propiamente dichos, hojas y restos de la flor.
2. Sarmientos de la poda de parras de uva de mesa (*Vitis vinifera*).
3. Sarmientos de poda de vid de uva de vino (*Vitis vinifera*).
4. Caña de río (*Arundo donax*), que se ha de cortar anualmente en toda la huerta para evitar su extensión y el ensombrecimiento de los cultivos próximos.

Centrándonos en los resultados que obtuvo de poder calorífico superior en bomba calorimétrica se tiene:

Tabla 5.- Resultados de Poder Calorífico Superior para diferentes residuos agrícolas del sureste español. (Fuente: Soler Andrés et al., 1981).

Material estudiado	Poder calorífico superior ($kcal \cdot kg^{-1}$)
Tallos de algodón	4098
Sarmientos de parra	4221
Sarmientos de vid	4278
Caña de río	4274

Posteriormente y continuando en esta línea de estudio, Soler Andrés et al., en 1983, estudiaron otros cuatro residuos de cultivos típicos del sureste español:

1. Tallos de maíz (*Zea mays*).
2. Tallos de pimiento (*Capsicum anuum*).
3. Tallos de tomatera (*Lycopersicum esculentum*).
4. Residuos de poda de almendro (*Amygdalus dulcis*).

Los tres primeros residuos se obtienen al cortar o arrancar la planta tras agotar su período útil de producción y los últimos, anualmente, por las faenas de acondicionamiento del árbol.

Los resultados de poder calorífico superior obtenidos en bomba calorimétrica fueron:

Tabla 6.- Resultados de Poder Calorífico Superior para diferentes residuos agrícolas del sureste español

<i>Material estudiado</i>	<i>Poder calorífico superior (kcal · kg⁻¹)</i>
Tallos de maíz	4341
Tallos de pimiento	3665
Tallos de tomatera	2944
Podas de almendro	4306

(Fuente: Soler Andrés et al., 1983).

En el trabajo realizado por Antolín Giraldo et al., en 1989, titulado “Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal” se realizaron distintos ensayos a lo largo de dos años a distintos residuos de cultivos cerealísticos.

Los ensayos realizados fueron:

1. Determinación del poder calorífico y del contenido en humedad.
2. Análisis elemental.
3. Determinación de los extraíbles existentes (ceras, grasas, clorofila, etc...)
4. Determinación del contenido en lignina.
5. Contenido en cenizas.
6. Análisis térmico por termogravimetría y análisis térmico diferencial.

Se presentan a continuación los resultados de poder calorífico superior a humedad 0%:

Tabla 7.- Resultados de Poder Calorífico Superior para diferentes restos de cereal.

<i>Material estudiado</i>	<i>Poder calorífico superior (kcal · kg⁻¹)</i>
Cebada Caballar	4341
Trigo	4349
Centeno	4515
Cebada Cervecera	4306

(Fuente: Antolín Giraldo et al., 1989).

Villegas (1988) estudió en su Tesis Doctoral el poder calorífico (determinación en bomba calorimétrica) de distintas especies forestales españolas como son:

Pinus sylvestris, Pinus pinaster v. atlantica, Pinus pinaster mesogeensis resinado y sin resinar, Pinus nigra, Pinus pinea, Pinus halepensis, Pinus radiata, Quercus robur, Quercus ilex, Quercus pyrenaica, Quercus faginea, Eucalyptus globulus, Eucalyptus camaldulensis,

Los resultados de poder calorífico superior medio (con un 0% humedad) obtenido para las distintas especies estudiadas fueron:

Tabla 8.- Resultados de Poder Calorífico Superior para distintas especies forestales españolas.

Especie considerada PCS (kcal · kg ⁻¹)	Parte del árbol considerado			
	Tocón	Fuste	Ramas	Corteza
<i>Pinus sylvestris</i>	5220,46	5186,85	5377,59	5694,06
<i>Pinus pinaster v. atlantica</i>	4940,67	5024,51	5096,95	5410,82
<i>P. pinaster mesogeensis</i> resinado	5773,56	5182,74	5334,93	5786,00
<i>P. pinaster mesogeensissin</i> resinar	4654,51	5103,14	4994,26	5741,19
<i>Pinus nigra</i>	4969,97	4978,43	4907,88	5255,68
<i>Pinus pinea</i>	5089,20	4932,87	5028,46	5364,05
<i>Pinus halepensis</i>	4919,28	4831,52	4799,07	4923,32
<i>Pinus radiata</i>	4634,10	4751,05	4824,09	5531,024
<i>Quercus robur</i>	4865,43	4728,52	4753,03	4910,97
<i>Quercus ilex</i>	4832,60	4903,61	4849,72	4746,48
<i>Quercus pyrenaica</i>	5097,59	5230,34	5032,32	5345,68
<i>Quercus faginea</i>	4673,66	4685,82	4599,12	4659,70
<i>Eucalyptus globulus</i>	4663,32	4589,91	4486,61	4399,65
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4994,02	4967,59	4827,86	4285,10

(Fuente: Villegas, 1988).

Gimeno (1989) estudió el comportamiento energético de especies españolas del género *Quercus* (determinando el poder calorífico superior en bomba calorimétrica).

Tabla 9.- Resultados de Poder Calorífico Superior para distintas especies españolas del género *Quercus*.

Especie considerada PCS (kcal · kg ⁻¹)	Parte del árbol considerado			
	Tocón	Fuste	Ramas	Corteza
<i>Pinus sylvestris</i>	5220,46	5186,85	5377,59	5694,06
<i>Pinus pinaster v. atlantica</i>	4940,67	5024,51	5096,95	5410,82
<i>P. pinaster mesogeensis</i> resinado	5773,56	5182,74	5334,93	5786,00
<i>P. pinaster mesogeensissin</i> resinar	4654,51	5103,14	4994,26	5741,19
<i>Pinus nigra</i>	4969,97	4978,43	4907,88	5255,68
<i>Pinus pinea</i>	5089,20	4932,87	5028,46	5364,05
<i>Pinus halepensis</i>	4919,28	4831,52	4799,07	4923,32
<i>Pinus radiata</i>	4634,10	4751,05	4824,09	5531,024
<i>Quercus robur</i>	4865,43	4728,52	4753,03	4910,97
<i>Quercus ilex</i>	4832,60	4903,61	4849,72	4746,48
<i>Quercus pyrenaica</i>	5097,59	5230,34	5032,32	5345,68
<i>Quercus faginea</i>	4673,66	4685,82	4599,12	4659,70
<i>Eucalyptus globulus</i>	4663,32	4589,91	4486,61	4399,65
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4994,02	4967,59	4827,86	4285,10

(Fuente: Gimeno, 1989).

INDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1.- Valor del Calor específico adicional debido a la energía de las uniones agua-biomasa.</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 2.- Comparación entre los resultados de poder Calorífico Superior para restos de cereal obtenidos en calorímetro y a través de ecuaciones en función de su composición elemental.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 3.- Comparación entre los resultados de poder Calorífico Superior para restos de cereal obtenidos en calorímetro y en función del Poder calorífico de termobalanza....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 4.- Comparación entre los resultados de poder Calorífico Superior para restos de cereal obtenidos en calorímetro y a través de ecuaciones en función de sus componentes.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 5.- Resultados de Poder Calorífico Superior para diferentes residuos agrícolas del sureste español. (Fuente: Soler Andrés et al., 1981).</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 6.- Resultados de Poder Calorífico Superior para diferentes residuos agrícolas del sureste español.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 7.- Resultados de Poder Calorífico Superior para diferentes restos de cereal.</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 8.- Resultados de Poder Calorífico Superior para distintas especies forestales españolas.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 9.- Resultados de Poder Calorífico Superior para distintas especies españolas del género Quercus.</i>	<i>101</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.- Curvas genéricas de secado:</i>	42
<i>Figura 2.- Diagrama de equilibrio de secado.</i>	44
<i>Figura 3.- Flujos de entrada y de salida en un secadero convencional.</i>	46
<i>Figura 4.- Diagrama psicrométrico donde se muestra la línea de bulbo húmedo.</i>	57
<i>Figura 5.- Diagrama psicrométrico donde se muestra la línea saturación adiabática.</i>	58
<i>Figura 6.- Relación entre la humedad referida al peso seco y la misma referida al peso húmedo.</i>	61

INDICE DE ECUACIONES

(Ec. 1).- Ecuación de transferencia de calor y materia para el período de secado a velocidad constante	38
(Ec. 2).- Equilibrio dinámico entre la velocidad de suministro de calor y velocidad de eliminación de líquido	38
(Ec. 3).- Transferencia de calor en el período de secado de velocidad decreciente	39
(Ec. 4).- Transferencia de materia en el período de secado de velocidad decreciente	40
(Ec. 5).- Modelo de difusión para la etapa postcrítica (2ª ley de Fick)	41
(Ec. 6).- Eficacia de un secadero	48
(Ec. 7).- Masa seca del aire necesario para desecar una sustancia	48
(Ec. 8).- Ecuación de estado para el aire seco	50
(Ec. 9).- Ecuación de estado para el vapor de agua	50
(Ec. 10).- Relación entre la ecuación de estado del vapor de agua y el aire seco	50
(Ec. 11).- Suma de las presiones parciales del aire seco y del vapor de agua	50
(Ec. 12).- Ecuación de estado de una mezcla de aire seco y vapor de agua	51
(Ec. 13).- Ecuación de estado de una mezcla de aire seco y vapor de agua	51
(Ec. 14).- Constante R_m para la mezcla de aire seco y de vapor de agua	51
(Ec. 15).- Humedad específica (base húmeda) del aire húmedo	51
(Ec. 16).- Humedad específica (base seca)	52
(Ec. 17).- Humedad absoluta del aire húmedo	52
(Ec. 18).- Densidad del aire	52
(Ec. 19).- Densidad real del aire húmedo	52
(Ec. 20).- Volumen específico del aire húmedo	52
(Ec. 21).- Humedad específica	52
(Ec. 22).- Humedad absoluta	53
(Ec. 23).- Humedad relativa del aire húmedo	53
(Ec. 24).- Entalpía del aire húmedo	54
(Ec. 25).- Entalpía específica del aire húmedo	54
(Ec. 26).- Calor sensible o entalpía específica del aire seco	54
(Ec. 27).- Calor específico del aire seco	54
(Ec. 28).- Calor latente del aire húmedo	55
(Ec. 29).- Entalpía específica del vapor de agua contenido en el aire húmedo o calor total de vaporización	55
(Ec. 30).- Calor específico del vapor de agua a presión constante	55
(Ec. 31).- Calor latente de vaporización. Expresión de Regnault	55
(Ec. 32).- Equilibrio en la transferencia de materia entre el líquido por evaporación con el calor entregado por el gas	56
(Ec. 33).- Idem	57
(Ec. 34).- Calor latente en el vapor en el estado final	57
(Ec. 35).- Idem	58
(Ec. 36).- Pendientes de las líneas de saturación adiabática y la del bulbo húmedo	58
(Ec. 37).- Humedad (base húmeda) del sólido	60
(Ec. 38).- Humedad (base seca) del sólido	60
(Ec. 39).- Relación entre la humedad del sólido en base húmeda y en base seca	61
(Ec. 40).- Idem	61
(Ec. 41).- Calor específico de un sólido	62
(Ec. 42).- Calor específico de la madera seca en función de la temperatura	62
(Ec. 43).- Calor específico de la biomasa húmeda	62

(Ec. 44).- Cantidad de calor cedido al sólido por unidad de tiempo y superficie en el secado por convección.....	64
(Ec. 45).- Poder calorífico inferior (Kollman, 1959)	90
(Ec. 46).- Humedad en base húmeda en función de la humedad en base seca	90
(Ec. 47).- Proporción de hidrógeno (base húmeda) en función de la proporción de hidrógeno (base seca) y la humedad (base seca)	90
(Ec. 48).- Poder calorífico superior (Kollman, 1959).....	91
(Ec. 49).- Poder calorífico inferior (Elvira Martín et al., 1982)	91
(Ec. 50).- Poder calorífico superior (Elvira Martín et al., 1982).....	91
(Ec. 51).- Calor desprendido por el agua en la combustión	91
(Ec. 52).- Poder calorífico superior en base seca (Elvira Martín et al., 1982)	91
(Ec. 53).- poder calorífico inferior en base seca (Elvira Martín et al., 1982)	91
(Ec. 54).- Poder calorífico práctico en base seca(Elvira Martín et al., 1982).....	91
(Ec. 55).- Poder calorífico inferior (CEDER, 1983)	92
(Ec. 56).- Poder calorífico superior anhidro (Villegas, 1988).....	92
(Ec. 57).- Poder calorífico inferior en base seca (Villegas, 1988).....	92
(Ec. 58).- Poder calorífico inferior anhidro (Villegas, 1988)	92
(Ec. 59).- Poder calorífico inferior en base húmeda (Villegas, 1988)	92
(Ec. 60).- Poder calorífico inferior en base húmeda (IDAE, 1993)	93
(Ec. 61).- Poder calorífico inferior en base seca (IDAE, 1993).....	93
(Ec. 62).- Poder calorífico superior aproximado. Fórmula de Dulong	93
(Ec. 63).- Poder calorífico superior. Expresión de Laut	94
(Ec. 64).- Poder calorífico superior anhidro en función de la composición elemental (Antolín, 1989)	94
(Ec. 65).- Poder calorífico en función de la composición elemental (Shafizadeh et al., 1976)	94
(Ec. 66).- Poder calorífico en función de la composición elemental (Tillman, 1978)	94
(Ec. 67).- Poder calorífico en función del análisis inmediato.....	95
(Ec. 68).- Porcentaje de hidrógeno en función del poder calorífico superior y de las materias volátiles	95
(Ec. 69).- Porcentaje de carbono en función del poder calorífico superior y de las materias volátiles	95
(Ec. 70).- Poder calorífico superior a partir del poder calorífico de termobalanza	96
(Ec. 71).- Poder calorífico superior en función del análisis de componentes. Expresión de Tillman	96
(Ec. 72).- Poder calorífico superior en función del análisis de componentes. Expresión de Shafizadeh	96

4.- Materiales, Equipos y Métodos

|

|

4.- MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS.

4.1.- MATERIALES Y EQUIPOS.

4.1.1.- CALORÍMETRO ISOPERIBÓLICO.

El calorímetro elegido es el denominado PARR-1261 con modo de operación isoperibólica, diferente a los modos de operación usuales: isotérmico y adiabático.

El método isoperibólico para la determinación del PC se basa en que la camisa del calorímetro se mantiene a temperatura constante, mientras que el calor generado en la combustión de la muestra eleva la temperatura de la cubeta y de la bomba.

El pequeño flujo de calor entre la cubeta y su entorno es registrado por el microprocesador que determina de forma continua el efecto de cualquier intercambio de calor y aplica la corrección adecuada.

Este método difiere del isotérmico, en el que hay que ir leyendo la elevación de temperatura de la cubeta para determinar esa transferencia de calor entre ésta y la camisa y así aplicar la corrección adecuada.

En el método adiabático la temperatura de la camisa NO es constante y ha de ir ajustándose para alcanzar la temperatura de la cubeta para que así no exista transferencia de calor y evitar el tener que aplicar la corrección.

La exactitud del método elegido es con mucho la mayor de todas.

El calorímetro PARR-1261, tiene además la posibilidad de trabajar según el llamado proceso dinámico, en el que se sigue la operación isoperibólica habitual pero utilizando una sofisticada curva con la cual el microprocesador compara el incremento de temperatura con una curva base, de esta forma, efectúa una extrapolación y obtiene la temperatura final sin esperar a alcanzarla.

Una larga serie de experiencias realizadas durante 5 años han demostrado que esta técnica puede reducir el tiempo necesario para el ensayo a la mitad, sin afectar a la precisión.

El patrón utilizado, tanto para la estandarización como para la calibración, son unas pastillas de un gramo de peso, de ácido benzoico que posee un poder calorífico conocido de $6318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

Se utilizó para la combustión una bomba de oxígeno fabricada con acero especial que no reacciona con los ácidos nítrico o sulfúrico que se puedan formar en la combustión.

El alambre que se utiliza podía ser, según la norma ASTM D240, de hierro puro ($1600 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$), de níquel-cromo ($355 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$) y de platino ($100 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$).

En este trabajo se utilizó, en cada determinación, 10 cm de alambre PARR 45C10, con un poder calorífico conocido de $2,3 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1}$.

El oxígeno utilizado para el llenado de la bomba (norma ASTM D2015) puede ser fabricado a partir de aire líquido, debiendo poseer en este caso una pureza del 99,5%, o fabricado por proceso electrolítico pudiendo contener una pequeña cantidad de hidrógeno, en cuyo caso no se utilizará sin purificar.

En este trabajo el oxígeno utilizado fue el C-40 que posee una pureza de 99,99%, con un contenido en hidrógeno de 5vpm, en nitrógeno de 100 vpm, en agua de 5vpm, en hidrocarburos de 2vpm, siendo la relación CO/CO₂ de 2 vpm.

Para calcular la corrección de ácido es necesario valorar el líquido de lavado de la bomba con un álcali. Las normas dejan un amplio abanico de posibilidades en cuanto al álcali y la concentración del mismo a usar en esta valoración.

La norma ASTM D2382 utiliza NaOH 0,0866 N, la norma ASTM D2015 utiliza Na₂CO₃ secado previamente durante 24 horas a 105°C, con una concentración de $20,9 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. La norma INTA 150229C (correspondencia con ASTM D240) utiliza como solución alcalina patrón o bien Na₂CO₃ anhidro en disolución de $3,84 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, o bien NaOH o KOH en concentración 0,0725 N.

El calorímetro PARR 1261 la solución alcalina que considera y para la cual tiene todos los factores calculados es Na₂CO₃ 0,0709 N, conforme a ésta es a la que se hacen las correcciones oportunas.

El equipo permite trabajar de dos formas, o bien se introducen las correcciones manualmente después de cada ensayo (en este caso el mismo calorímetro las irá solicitando para emitir el informe final), o bien se introducen como correcciones fijas (en cuyo caso éstas no serán solicitadas y el equipo las tendrá en cuenta automáticamente).

El calorímetro posee una camisa interna que ha de llenarse manualmente con aproximadamente 9 litros de agua, este agua deberá estar a una temperatura de 35°C que el calorímetro se encarga de mantener constante mediante un enfriador.

El agua de esta camisa forma un circuito cerrado con el agua de un dispositivo, “aterperador 1563”, que proporciona los 2 litros de agua necesarios para el llenado posterior de la cubeta donde va alojada la bomba dentro del calorímetro. Este sistema proporciona los 2 litros (± 0.5 ml) a la temperatura deseada (de 4°C a 6°C menos de la temperatura de la camisa del calorímetro, es decir unos 30 °C) y en el momento deseado.



Figura 1.- Calorímetro isoperibólico utilizado para la determinación del poder calorífico.

Para el picado del material y para la formación de las pastillas a introducir en el calorímetro se utilizaron:

Molino analítico IKA MF 10 con cabezal molturador por corte y tamiz MF 3.0 (diámetro 3 mm).

Pelletizadora PARR Pellet Press 2811.

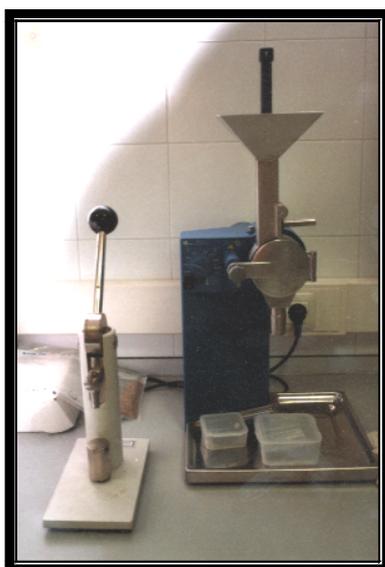


Figura 2.- Molino analítico y Pelletizadora para la formación de las pastillas.

4.1.2.- ESTUFA.

La determinación de la humedad se lleva a cabo en una estufa *Selecta Conterm 2000201* de 150 litros. Las características son:

Potencia eléctrica = 2000 W.

Tensión de alimentación = 220 V.

Temperatura Máxima = 250 °C

Homogeneidad (según procedimiento de medida J.P. Selecta) = ± 4 K.

Estabilidad (según procedimiento de medida J.P. Selecta) = ± 1 K.

Error termómetro analógico (según procedim. de medida J.P. Selecta) = ± 5 K.

Peso = 68 kg.

Medidas interiores = (50 x 60 x 50) cm³.



Figura 3.- Estufa utilizada para la determinación de la humedad de las muestras.

4.1.3.- SECADERO.

El secadero utilizado para los ensayos es un prototipo de laboratorio, de fabricación propia, que ya había sido utilizado para otras investigaciones sobre secado de lúpulo en este mismo departamento.

Consta de dos cámaras con puertas frontales abatibles independientes: en la inferior se alojan las resistencias (elementos de caldeo) y en la superior se alojan dos cestas o bandejas idénticas donde se colocará el material para secar.

Estas cestas quedan suspendidas de unas células de carga que registran la variación de peso de manera continuada, enviando los datos directamente al ordenador.

La parte superior del secadero está abierta mediante una trampilla variable para la salida del aire húmedo.

Las dimensiones exteriores del secadero son $(0,50 \times 1,20)$ m² con una altura total de 1,80 m, de los cuales la cámara inferior tiene 0,40 m y la superior 1,20 m.

El material de construcción es tablero de aglomerado melamínico de 19 mm de espesor.

El aislamiento está realizado con dos placas de fibra de vidrio de 0,025 m de espesor cada una, recubierto con láminas de papel de aluminio.

Las cestas o bandejas tienen la base de malla metálica de $(0,33 \times 0,33)$ m² cada una que permite el paso del aire de secado, el peso es de 3,80 kg.

Por la parte posterior del secadero se introduce el aire de secado impulsado por un motor ventilador a través de un tubo de $(0,11 \times 0,11)$ m² de sección y 2,50 m de longitud.

Se procedió a la automatización, colocación de sondas e instalación del analizador para la medida de los parámetros necesarios para los ensayos posteriores.

Lo primero que se realizó fue el esquema unifilar y el cableado del cuadro eléctrico necesario para la puesta en marcha del motor y de las resistencias eléctricas que introducirán el aire caliente necesario para el secado del material. Las características de los elementos principales son:

Red trifásica de 380/220 V (50 Hz)

Motor: 250 W, $\cos \varphi = 0,80$, $\eta = 0,84$ y $U_n = 380/220$ V, instalado en estrella.

Resistencias: Cuatro resistencias de 2000 W cada una y $U_n = 220$ V, instaladas entre fase y neutro.



Figura 4.- Resistencias eléctricas instaladas en el secadero.

En el circuito de mando se instala un Termostato cuyas características son: Formato 1/16 DIN (48x48) mm² que dispone de consigna principal de acción directa o inversa y con salida de regulación discontinua por relé conmutado, con función PID autoajustable, alarma seleccionable en 8 modos y salida por contacto simple.

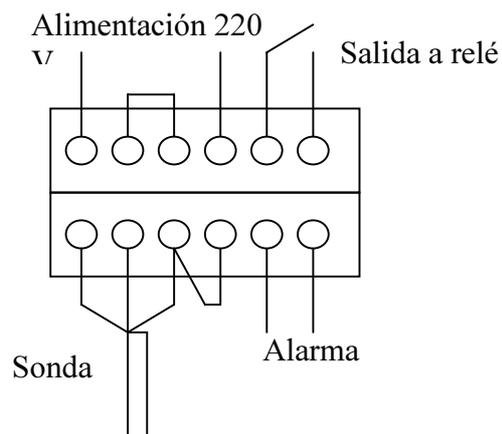


Figura 5.- Esquema de conexión del termostato instalado en el secadero.

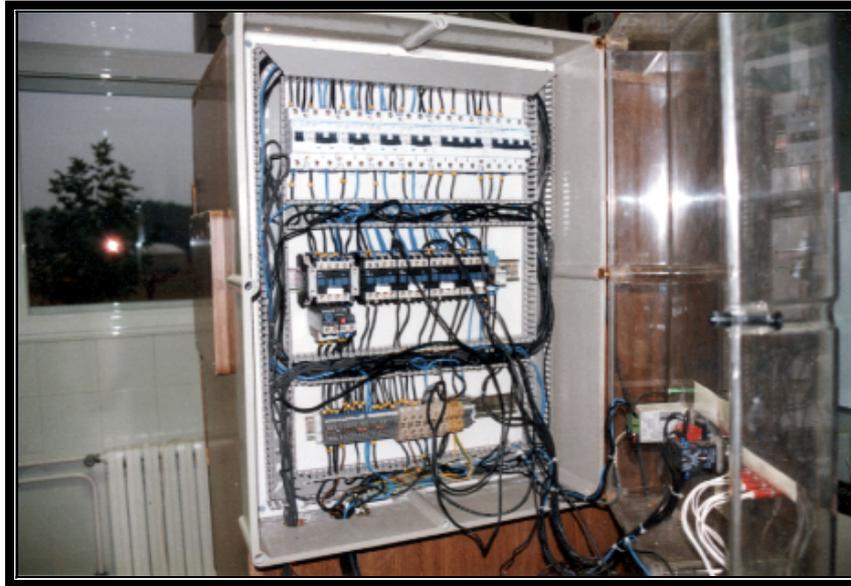


Figura 6.- Cuadro eléctrico instalado en la zona posterior del secadero.

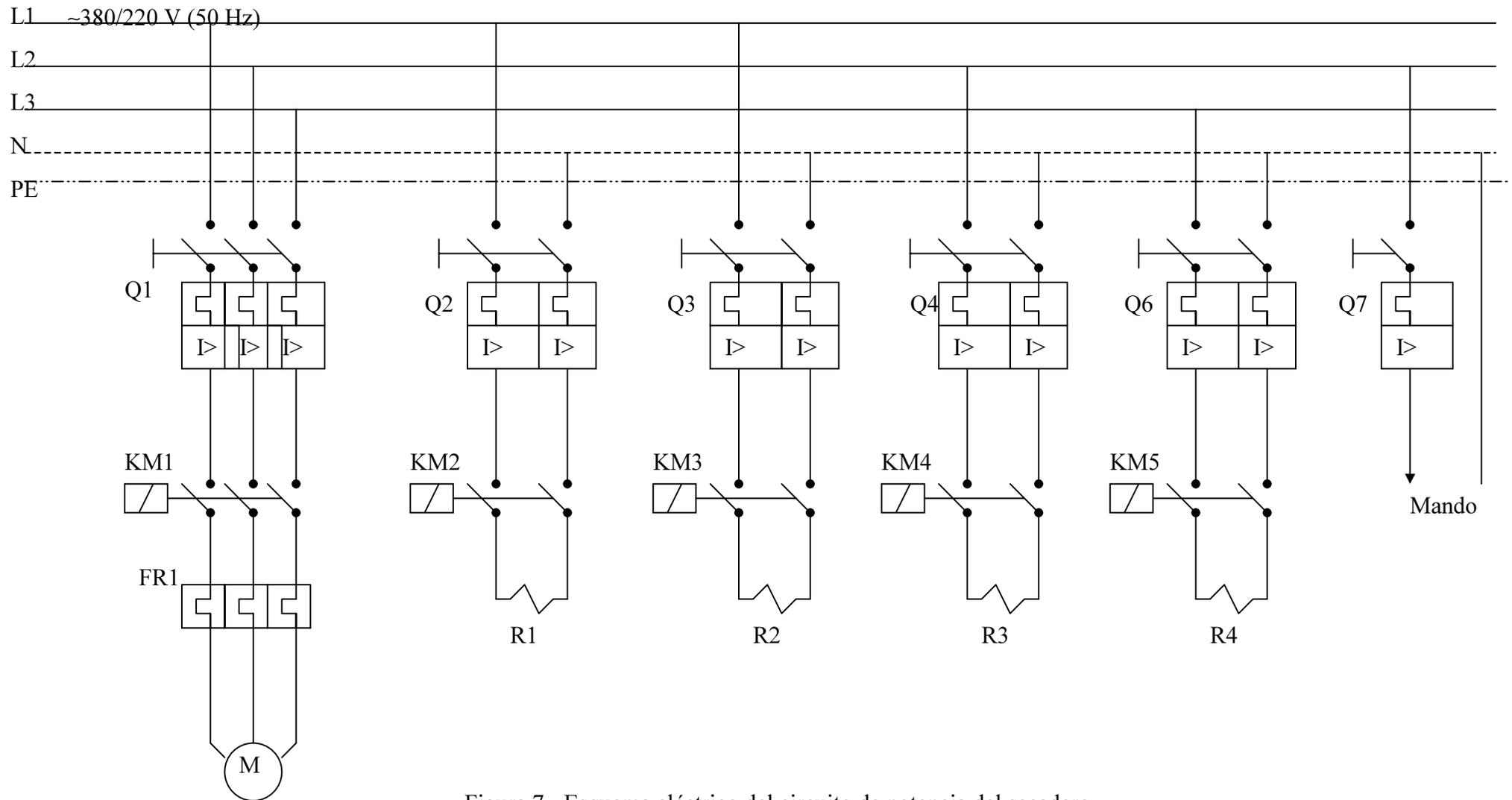


Figura 7.- Esquema eléctrico del circuito de potencia del secadero.

I.2

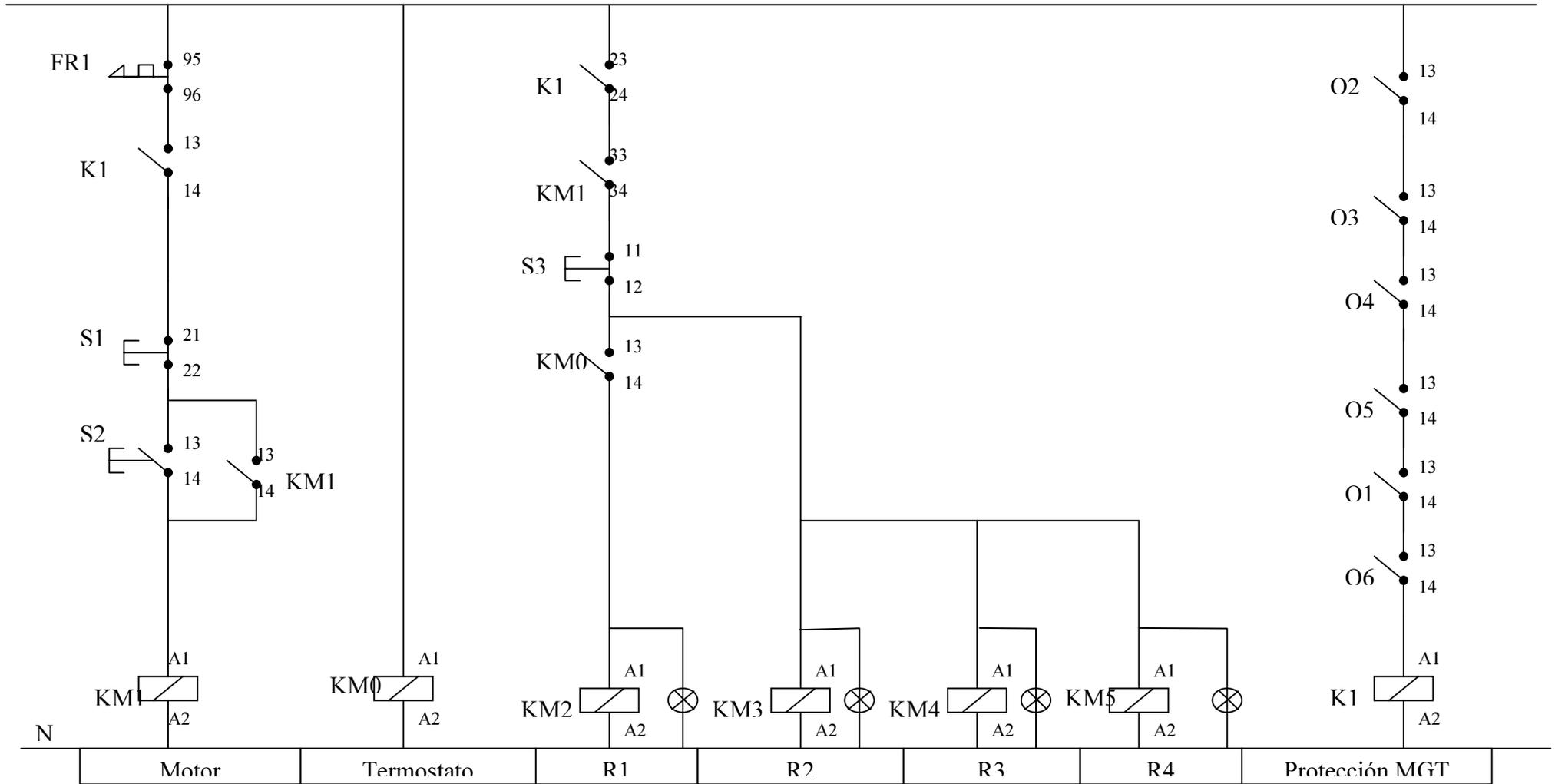


Figura 8.- Esquema eléctrico del circuito de mando del secadero.

4.1.4.- VARIADOR DE VELOCIDAD.

Para variar la velocidad del motor del secadero se instala un Variador “Altivar 18” (ATV-18U18M2) cuyas características eléctricas son:

Tabla 1.- Características eléctricas del variador de velocidad (ATV-18U18M2):

Tensión	200 - 15 % a 240 + 10% monofásica. 200 - 15 % a 230 + 10% trifásica. 380 - 15 % a 460 + 10% trifásica.
Frecuencia	50/60 ± 5 %.
Tensión de salida	Tensión máxima igual a la tensión de la red de alimentación.
Rango de frecuencia en salida	0,5...320.
Fuentes internas disponibles	1 salida + 10 V + 0 % + 15 % para el potenciómetro de consigna (1 kΩ a 10 kΩ), corriente máxima 10 mA 1 salida + 24 V para las entradas de mando, corriente máxima 100 mA.
Entradas analógicas AI	1 entrada analógica en tensión 0 + 10 V, impedancias 30 kΩ: AI1 1 entrada analógica en tensión 0 + 10 V, impedancias 30,55 kΩ: AI2. 1 entrada analógica en corriente 0 - 20 mA, impedancia 400 Ω: AIC AI2 y AIC no se pueden utilizar simultáneamente.
Entradas lógicas LI	4 entradas lógicas de impedancia 3,5 kΩ:, aisladas y asignables. Alimentación + 24 V (máximo 30 V), estado 0 si < 5 V, estado 1 si > 11 V.
Salida lógica LO	1 salida lógica compatible con autómatas (colector abierto), asignable + 24 V (19,2 a 30 V), máx. 20 mA con fuente interna o 200 mA con fuente externa.
Protecciones y seguridades del variador	Aislamiento galvánico entre potencia y control (entradas, salidas, fuentes) Protección contra los cortocircuitos: - de las fuentes internas disponibles. - entre las fases de salida. Protección térmica contra calentamientos excesivos y sobreintensidad. Seguridades de sobretensión y de subtensión de la red. Seguridad de sobretensión durante el frenado.
Protección del motor	Protección térmica integrada en el variador mediante cálculo permanente del I ² t.
Relé de seguridad	1 contacto “NANC” Poder de conmutación mínimo: 10 mA para cc 24 V. Poder de conmutación máximo: - en carga resistiva: 2 A para ~ 250 V o cc 30 V. - en carga inductiva: 0,3 A para ~ 250 V (cos φ = 0,4) o 1,5 A para cc 30 V.

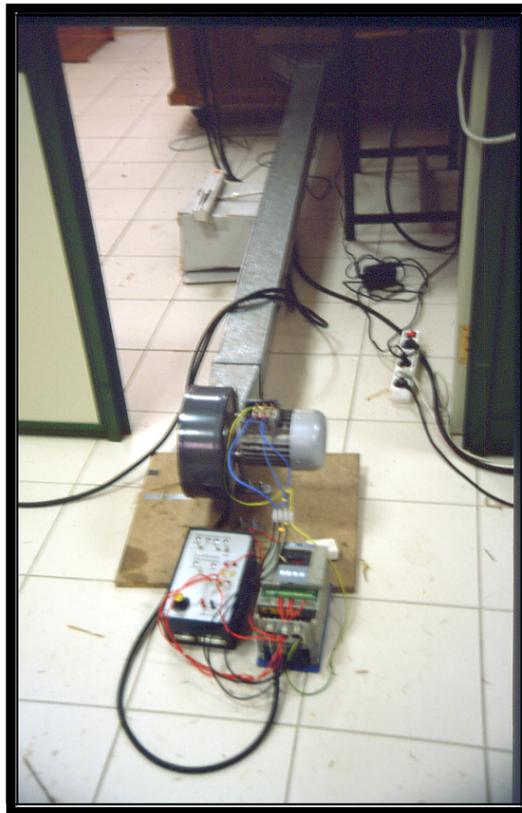


Figura 9.- Vista general del motor y del Variador de velocidad instalado en el secadero.

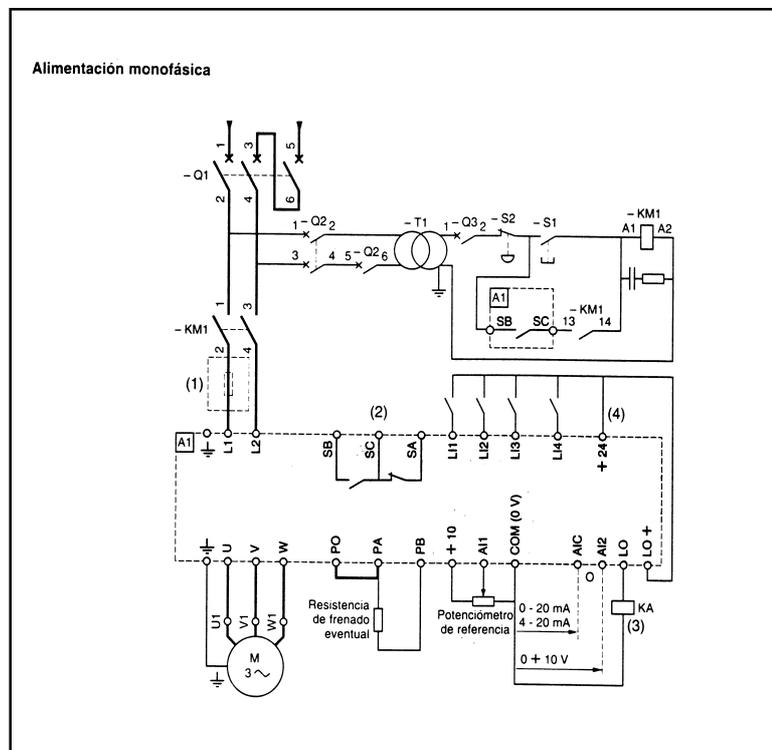


Figura 10.- Esquema eléctrico del variador de velocidad (ATV-18U18M2) en alimentación monofásica.

4.1.5.- ANALIZADOR DE REDES.

El analizador de redes utilizado para los ensayos es un *Equa (Electric Power Quality Analyzer) (T/TeamWare)*, las características son:

Capacidad: Tensiones: 0/600 Vca, \pm 800 Vcc

Corrientes: 5 A ca o cc.

Frecuencia: cc ó 45/65 Hz.

Precisión: Tensiones: 0,2 % plena escala.

Corrientes: 0,2 % plena escala.

El aparato está dotado de seis canales de ingreso analógicos aislados (tres tensiones y tres intensidades, completamente aisladas: > 2 kVrms y >3 kVpk) y de cuatro canales digitales (dos ingresos y dos salidas completamente separadas para trigger y señales).

Posee dos modalidades de funcionamiento: Modalidad de Vatímetro y Modalidad de Medición de Armónicos.

Como funciones especiales cabe comentar que permite la detección de alarmas, con 16 valores de umbral programables (de máximo o de mínimo), una resolución temporal de 10 ms para las tensiones eficaces y de 20 ms para las otras mediciones, y un tiempo de insensibilidad programable desde 0 a 60 s.

Posee una capacidad del registrador de 24 mediciones para la modalidad de Vatímetro y desde la 1ª a la 50 armónica con forma de onda para el análisis de armónicos. La cadencia de grabación va desde 20 ms a 1 hora para el Vatímetro y desde 1 s a 1 hora para el análisis de armónicos.

Los modos operativos son: normal, en alarma y sobre trigger externo.

Posee una elevada Compatibilidad Electromagnética (clase IV prevista para aislamiento, disturbios conducidos, inmunidad a las descargas electrostáticas, inmunidad a los campos electromagnéticos...)

El set de mediciones en la modalidad de Vatímetro incluye todos los parámetros que a continuación se describen:

Tabla 2.- Parámetros medidos en la modalidad de Vatímetro con el Analizador de redes.

Sistema trifásico	Tensión trifásica Corriente trifásica Potencia activa trifásica Factor de potencia trifásico
Fase L1	Tensión fase L1 Corriente fase L1 Potencia activa fase L1 Factor de potencia fase L1
Fase L2	Tensión fase L2 Corriente fase L2 Potencia activa fase L2 Factor de potencia fase L2
Fase L3	Tensión fase L3 Corriente fase L3 Potencia activa fase L3 Factor de potencia fase L3
Tensión de Línea (Fase/Fase)	Tensión fase ΣL , L1, L2, L3 Instantánea, Media, Mínima, Máxima
Tensión Fase/Neutro	Tensión L1N, L2N, L3N Instantánea, Media, Mínima, Máxima
Intensidad	Intensidad ΣL , L1, L2, L3 Instantánea, Media, Mínima, Máxima, Neutro
Potencia Activa	Potencia activa ΣL , L1, L2, L3 Instantánea, Media, Máxima
Potencia reactiva	Potencia reactiva ΣL , L1, L2, L3 Instantánea, Media, Máxima, de reajuste.
Potencia Aparente	Potencia aparente ΣL , L1, L2, L3 Instantánea, Media
Factor de Potencia	Factor de potencia ΣL , L1, L2, L3 Instantánea, Media
Energía Activa	Energía activa ΣL , L1, L2, L3 Total y energía activa ΣL dividida en cuatro franjas horarias programables diaria o semanalmente
Energía Reactiva	Energía reactiva ΣL , L1, L2, L3 Total y energía reactiva ΣL dividida en cuatro franjas horarias programables diaria o semanalmente
Frecuencia	Frecuencia de la red
Desequilibrio trifásico	Desequilibrio trifásico de tensión %

Los valores mínimos, medios y máximos de las mediciones se dan sobre intervalos de tiempo programables, y expresamente para el análisis de las cargas, reparte las energías en franjas horarias programables diariamente o semanalmente.

Para la medición de intensidades se dispuso de unas pinzas amperimétricas C148 con las siguientes características:

Tabla 3.- Características de las pinzas amperimétricas C 148 utilizadas con el Analizador de redes.

Calibre	1000/5	500/5	250/5
Impedancia	0,2 Ω (5 VA)	0,2 Ω (5 VA)	0,1 Ω (2,5 VA)
Intensidad nominal	1000 A~	500 A~	250 A~
Error sobre la medida	<0,5 % de I salida	<1 % de I salida	< 2 % de I salida
Relación entrada/salida	5 mA~/A~	10 mA~/A~	20 mA~/A~
Relac. transformación	200	100	50

La conexión del Analizador se realizó al inicio de la línea trifásica para que la toma de datos se realizara sobre la totalidad de los elementos eléctricos instalados en el secadero (según esquema adjunto).

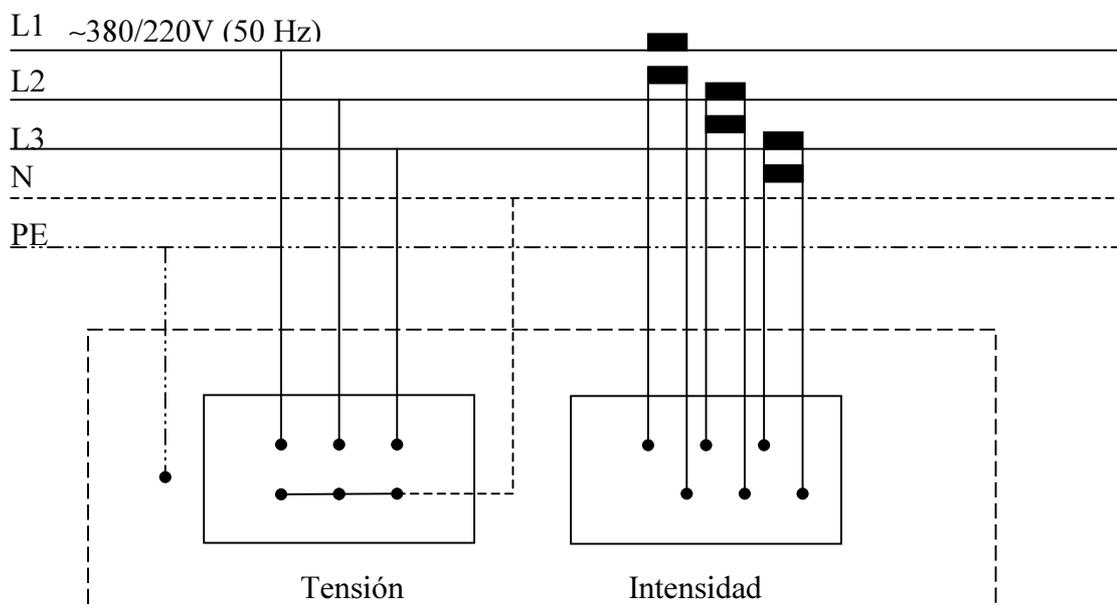


Figura 11.- Esquema de conexión del Analizador de redes.

Con el software “*Equa for Windows*” se pueden transferir las mediciones almacenadas en el analizador, bien a través de disquette o bien directamente por puerta serie RS232. El software “*Equa for Windows*” nos permite además procesar, almacenar, calcular e imprimir las mediciones. También se puede programar y configurar el analizador a través del PC (archivos *.cfg).



Figura 12.- Analizador de redes utilizado para los ensayos.

4.1.6.- SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD).

Para la medición y registro de parámetros, que después se señalan, se utilizó un *datalogger Testo 454* de seis canales, instrumento portátil que sirve tanto para mediciones breves de control, así como para control y registro de las mismas en períodos largos con cortos intervalos de medición.

Con el programa “*testo Comfort Software*” se establece la conexión directa entre el datalogger 454 y el PC y así procesar, almacenar, calcular e imprimir los bloques de medición. También se puede programar y configurar el datalogger a través del PC.

Sondas de temperatura: La medición de temperatura se puede realizar usando termopares (efecto termoeléctrico), termoresistencias o termistores (NTC) (resistencias dependientes de la temperatura).

Los termopares consisten en un par termoeléctrico soldado de distintos metales o aleaciones de metal. Las normas DIN IEC 584 definen los valores básicos de voltaje termoeléctrico y las tolerancias máximas en los termopares. El termopar más frecuente es NiCr-Ni (diseño tipo K).

Cuando se utiliza una resistencia dependiente de la temperatura, se suele hablar de una resistencia de Platino (Pt100). La resistencia de medición se suministra con una intensidad constante y una caída de tensión, que varía con el valor de la resistencia mediante la temperatura que es lo que se mide (valores y tolerancias básicas para termómetros de resistencia se definen en DIN IEC 751).

Los termistores (NTC) tienen un coeficiente de temperatura muy negativo (la resistencia disminuye al aumentar la temperatura). Las sondas utilizadas han sido:

Sonda ambiente (NiCr-Ni): El rango de temperaturas en la sonda (0602.1792 C) elegida es de -60°C a $+400^{\circ}\text{C}$ (Clase 2).

Sonda de inmersión (NiCr-Ni) para medidas en líquidos o sustancias en polvo (0600.0493C). Rango entre -200°C y $+600^{\circ}\text{C}$ (Clase 1).

Sonda ambiente (Pt100) con un rango desde -100°C a $+200^{\circ}\text{C}$ (Clase B).

Sondas de humedad: Para la medición de humedad se utilizan higrómetros de cabello, psicrómetros, espejo de punto de rocío o sensor de humedad capacitivo, que varía su capacidad en función de la humedad ambiente. La sonda usada ha sido:

Sonda combinada de humedad y temperatura: el rango es de 0 a 100% HR y desde -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$ y punto de rocío desde -50°C a $+100^{\circ}\text{C}$, longitud total 245 mm, diámetro 21mm.

Sondas de velocidad: Para medir la velocidad de un flujo de aire existen dos métodos: con sondas (las térmicas, las de molinete) y con el tubo Pitot.

Las sondas térmicas se basan en un elemento calentado del que se extrae el calor mediante el impacto del caudal que lo enfría. La temperatura se mantiene constante mediante regulador. En caudales turbulentos un sensor térmico indica valores de medición mayores que los de una sonda de molinete.

Las sondas de molinete se basan en la conversión de la rotación en una señal eléctrica. Un sensor de proximidad inductivo cuenta las revoluciones del molinete y emite una secuencia de pulsos que se convierten en el instrumento de medición y a continuación se indica como un valor de velocidad.

La apertura del tubo Pitot toma la presión total y la conduce a una desviación del tubo. La presión estática pura se toma desde una parte lateral y se conduce a otra desviación. La presión diferencial resultante es una presión dinámica que depende de la velocidad.

La sonda utilizada es:

Sonda térmica de velocidad: Rango de 0 a $10\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y desde -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$, sensor de bola (NTC). Ha de colocarse de tal forma que el cambio de dirección del tubo esté a una distancia de $10 \times D$ (D = diámetro interior del conducto en cm) antes del lugar de medición y $4 \times D$ después del lugar de medición.

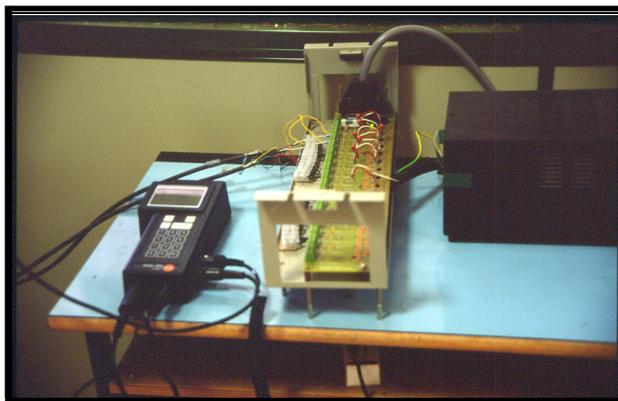


Figura 13.- SAD instalado, para la adquisición de datos.

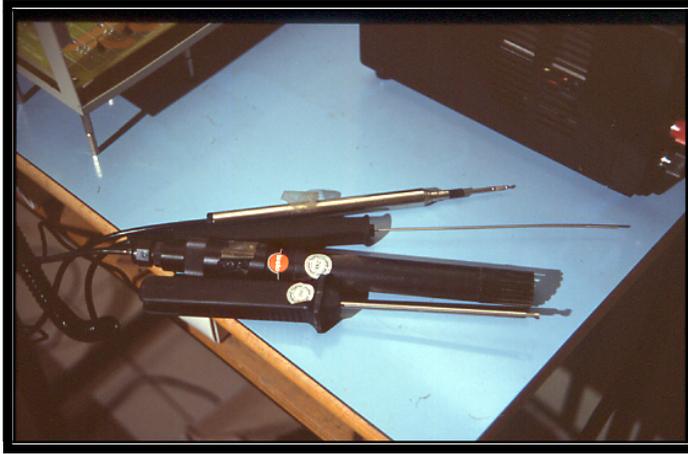


Figura 14.- Sondas utilizadas en los ensayos para la medición de los diferentes parámetros.

4.1.7.- CÉLULAS DE CARGA.

Las células de carga utilizadas para la determinar la variación de peso durante el secado son “Z-folded load cells” serie 500 QD Modelo 546 QD, el cuerpo de las células está realizado en Aluminio, el circuito eléctrico protegido con silicona y repelente del agua, grado de protección IP 65.

El rango de medida es de 0 a 60-110 kg, sensibilidad de 2 mV/V (fondo de escala) con error máximo de 1500 intervalos < 0,046 % (fondo de escala) (Clase 1,5), error por efecto de la temperatura: < 0,046 % (fondo de escala).



Figura 15.- Células de carga para medir la variación de peso durante el secado.

4.1.8.- BALANZAS.

Las balanzas empleadas para la realización de las pesadas son de dos tipos: balanza de precisión AG 204 y balanza PB 3002, sus características técnicas se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 4.- Características de la balanza de precisión AG 204.

Precisión de indicación	0,1 mg
Capacidad máxima	210 g
Zona de tarado	0...210 g
Repetibilidad	0,1 mg
Linealidad (en el intervalo de T ^a 10...30°C)	± 0,2 mg
Pesa de calibración interna	200 g
Pesas de calibración externas	50/100/200 g
T ^a ambiente permisible	5...40 °C
Dimensiones balanza	205/330/310 mm
Peso neto	4,9 kg
Platillo	φ 85 mm

Tabla 5.- Características de la balanza PB 3002.

Precisión de indicación	0,01 g
Capacidad máxima	3100 g
Repetibilidad	0,01 g
Linealidad	± 0,03 g
Pesa de ajuste	2000 g
Pesa de calibración (para balanzas verificadas)	3000 g
Dimensiones exteriores de la balanza	190/290/62 mm
Peso neto	2,5 kg
Platillo	180 x 166 mm

4.1.9.- MATERIALES DE ESTUDIO.

Los ensayos se realizaron con los siguientes materiales:

Restos herbáceos con posible aprovechamiento energético: restos de maíz (*Zea mays*) como cereal de verano y restos de cebada (*Hordeum distichum*) como cereal de invierno.

Cultivo energético: *Cynara cardunculus L.*

RESTOS DE MAÍZ.

El maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas. El sistema radicular es fasciculado, de gran potencia y rápido desarrollo. El tallo puede elevarse a alturas de hasta 4 m. Las hojas son anchas y abrazadoras.

La planta es monoica, las flores femeninas aparecen en las axilas de algunas hojas y están agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas (mazorca). La mazorca está formada por una parte central llamada zuro, el grano se dispone en hileras longitudinales.

Las flores masculinas aparecen en la extremidad del tallo y están agrupadas en panículas (penachos).

El ciclo vegetativo del maíz comprende cinco fases: la nascencia, el crecimiento, la floración, la fructificación, la maduración y el secado.

Los tallos y hojas pueden ser aprovechados en verde como forraje y en seco para pasta de papel, en la práctica se procede a enterrarlos o en su caso a la quema de los mismos.

Los zuros pueden tener aprovechamiento industrial (fabricación de furfuro), pero se conoce su capacidad como combustible.

El maíz es un cultivo exigente en abonado. Las labores preparatorias del terreno han de ser buenas y oportunas. La siembra se debe hacer en primavera, procurando que la temperatura del suelo supere los 10°C. Es necesario el riego desde julio hasta el final del cultivo. La recolección es desde primeros de septiembre (en el sur de España) hasta el final del otoño (en el norte).

RESTOS DE CEBADA.

La cebada pertenece a la familia de las gramíneas.

Se distinguen por el número de espiguillas que quedan en cada diente del raquis la *Hordeum distichum* (queda sólo la espiguilla intermedia, abortando las laterales), la *Hordeum tetrastichum* (quedan las dos laterales abortando la central) y la *Hordeum hexastichum* (si se desarrollan las tres espiguillas).

Las hojas son estrechas y de color verde claro. El sistema radicular es más superficial que el del trigo. El tallo es de porte bajo.

Las espiguillas están unidas directamente al raquis, recubriéndose unas a otras. Las glumas son alargadas y agudas en su vértice, y las glumillas están adheridas al grano, las glumillas se prolongan por medio de una arista.

La espiga de la cebada de dos carreras es aplastada, en la de cuatro carreras la sección es más cuadrada y en la de seis carreras la sección es hexagonal. Las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas.

Es planta autógama. Las flores abren después de haberse realizado la fecundación. El fruto es en cariósipide con las glumillas adheridas.

El ciclo de la cebada es germinación, ahijamiento, encañado, espigado y maduración.

El aprovechamiento del grano es básicamente para la alimentación animal, así como la paja, pero usualmente, ésta se utiliza para incorporar al terreno o se quema en el campo.

En el abonado habrá que tener en cuenta que un exceso de nitrógeno produce el encamado de la cebada. Las labores profundas del terreno le favorecen pero sin que éste quede excesivamente mullido sino habrá problemas de nascencia.

La cebada de secano (Breceño, 1998) se cultiva en aquellas tierras que, por tener menos poder de retención del agua, no son idóneas para el trigo. Su período de espigado-madurez es más corto que en el trigo, por lo que necesita menos agua que éste en ese período.

En Castilla y León es la cebada el cultivo que ocupa mayor superficie.

Tabla 6.- Superficie cultivada según provincias (% de la superficie total de CyL), producciones máximas y rendimientos para el cultivo de cebada.

Provincias de CyL	% superficie del total de CyL	Máxima producción (t)	Rendimiento (kg/ha)	Año
Valladolid	24	1429538	3300	1988
Burgos	20	924578	3058	1990
Palencia	12	724545	2941	1984
Otras provincias	7-9	-	-	-

Fuente. Breceño Bueno, Y. 1998.

CULTIVO ENERGÉTICO: CARDO.

El cardo (*Cynara cardunculus L.*) es una especie perteneciente a la familia de las Compuestas (Asteraceae) lo mismo que el cártamo o el girasol (Fernández J., 1998).

Es una especie vivaz gracias a las yemas de recambio que posee en el cuello de la raíz estando muy bien adaptada a las condiciones del clima mediterráneo de veranos secos y calurosos.

En su ciclo natural brota en otoño, pasa el invierno en forma de roseta y en primavera emite un tallo floral ramificado, que se seca en verano, permaneciendo vivas las raíces y yemas remanentes de la base del tallo.

Al llegar el otoño estas yemas brotan y forman una nueva roseta para realizar un nuevo ciclo de desarrollo que puede repetirse durante varios años.

Hay que diferenciar en este ciclo el primer año, que es el de implantación y en el que el desarrollo del cardo se realiza a partir de la semilla con una cierta lentitud, de los años sucesivos en los que la planta rebrota de las yemas remanentes del cuello de la raíz y forma rápidamente una roseta de hojas basales a expensas de las reservas acumuladas en la raíz.

Se puede decir que el cultivo entra en producción normal a partir del segundo año, pudiendo durar en el terreno por un período ilimitado de años siempre que se le proporcione fertilización de restitución y se le someta al control y tratamiento adecuado de plagas y enfermedades que le pueden afectar.

Las características ecofisiológicas más importantes son:

- Cobertura total del terreno desde principios de otoño contribuyendo a una mayor captación de la radiación solar y a la eliminación de la competencia de malas hierbas.
- Adaptación al clima mediterráneo de tal forma que se realiza la fotosíntesis durante la época invernal (9 ó 10 meses de período de asimilación fotosintética, octubre a julio).
- Sistema radicular muy profundo que le permite utilizar las aguas de lluvia infiltradas en el subsuelo durante el otoño, invierno y primavera y los abonos lixiviados de los cultivos agrícolas anteriores.
- Ciclo de desarrollo adaptado para evitar la sequía estival secándose la parte aérea en verano y manteniendo frescas las raíces con abundantes sustancias de reserva.

Actualmente, diferentes entidades y organismos públicos y privados están investigando en cuanto a la preparación del terreno, abonado, siembra, tratamiento de plagas y enfermedades, recolección de biomasa etc...

Así con objeto de estudiar las posibilidades de biomasa de cardo para fines energéticos se estableció, en 1995, un convenio entre el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid y ENDESA. Las primeras conclusiones de las investigaciones han sido (Fernández J., 1998):

Preparación del terreno: se necesita una buena labor profunda que facilite la penetración de un sistema radicular tan potente, si la siembra se hace bajo cubierta podría adelantar un poco la época de siembra en primavera.

Abonado: no son aconsejable dosis muy elevadas de fertilizantes en el primer año debido a que sus necesidades no son muy elevadas, en el resto de años con un abonado de restitución, adecuando las dosis a las extracciones, sería suficiente.

Siembra: si la siembra es en otoño puede tener el problema de que la planta no llegue a tener el desarrollo correcto (cuatro hojas verdaderas) antes de las heladas invernales, si la siembra es en primavera la nascencia puede no ser correcta, debido a la irregularidad de las lluvias. El marco de plantación fue de 1 m x 1 m, no existiendo problema con la costra del terreno, incluso en los suelos arcillosos.

Recolección de la biomasa: se realizó durante el mes de septiembre con una segadora de tambores y una rotoempacadora. Las pérdidas fueron elevadas debido a que la planta estaba muy seca. Se produjeron problemas por obturación y la dureza y grosor

de los tallos dañaban la maquinaria, cuyo mantenimiento se hacía difícil, es necesario seguir investigando sobre la adecuación de la maquinaria en la recolección.

Tabla 7.- Productividad de biomasa de cardo en diversas localidades europeas y españolas.

Localización de las parcelas experimentales	Edad de la plantación	Campaña	Lluvia⁽¹⁾ mm	Producción⁽⁴⁾ t/ha
Toulouse (Francia) ⁽²⁾	-	94-95	-	-
	-	95-96	-	4,5
Tebas (Grecia)	-	94-95	490	28,6
	-	95-96	324	27,9
Forly (Italia)	-	94-95	752	17,5
	-	95-96	837	19,7
Cerdeña (Italia) ⁽²⁾	-	94-95	324	2,7
	-	95-96	594	8,6
Policoro (Italia)	-	94-95	316	7,5
	-	95-96	722	12,9
Sicilia (Italia)	-	94-95	387	15,9
	-	95-96	654	13,3
Lisboa (Portugal) ⁽²⁾	-	94-95	388	3,3
	-	95-96	1220	6,5
Madrid- Ciudad Universitaria (España)	2	91-92	595	27,5 ⁽³⁾
	3	92-93	445	18,6
	5	94-95	280	6,5
	6	95-96	529	16,3
	7	96-97	589	17,7
	8	97-98	793	25,2
Badajoz-finca “La Orden” (España)	1	93-94	418	4,3
	2	94-95	196	8,9
	3	95-96	511	15,6
Sevilla-Sanlúcar La Mayor (España)	2	94-95	227	10,5
	3	95-96	842	17,8
Ciudad Real-Torralba de Calatrava (España)	3	95-96	365	17,4

⁽¹⁾ Pluviometría de agosto a julio del año siguiente.

⁽²⁾ Resultados poco representativos, por diferentes causas.

⁽³⁾ Las plantas tuvieron un período de crecimiento de 16 meses (marzo 91 a julio 92).

Fuente: FERNÁNDEZ, Jesús. Cultivos energéticos para Castilla y León. Serie de Ponencias: El aprovechamiento energético de los cultivos en Castilla y León. Junta CyL y EREN. Noviembre 1998, pp 7-23.

⁽⁴⁾ La productividad está expresada en materia seca

4.2.- MÉTODO.

4.2.1.- ENSAYOS PREVIOS.

El calorímetro PARR-1261 proporciona el Poder Calorífico Superior a una humedad H' (base húmeda), PCS(H'):

$$PCS(H') = \frac{EE \cdot \Delta t - c_1 - c_2 - c_3}{m} \quad (\text{Ec. 1})$$

siendo: PCS(H') = Poder calorífico con humedad H' (b.h.) ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$), EE = Energía Equivalente ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), m = Masa de la pastilla muestra (g), c_1 = Corrección para el calor de combustión del alambre (cal), c_2 = Corrección para el calor de formación de ácido nítrico (cal), c_3 = Corrección para el calor de formación de ácido sulfúrico (cal), Δt = Incremento de temperatura ($^\circ\text{C}$).

En la expresión anterior aparecen los coeficientes: c_1 “corrección para el calor de combustión del alambre”, c_2 “corrección de ácido (nítrico)” y c_3 “corrección de azufre” cuyo significado es el siguiente:

Corrección de alambre de ignición: el alambre es parcialmente quemado en la combustión de la muestra. Con ello se genera dos formas de calor: el producido por la resistencia al paso de la corriente eléctrica y el debido a su propia combustión. Como no siempre se quema la misma cantidad de alambre es por lo que se resta el calor generado en este proceso.

Corrección de ácido nítrico: en el ambiente de alta presión que hay en el interior de la bomba, el nitrógeno existente en el material introducido como muestra se oxida a óxido nítrico (N_2O_5) y combinado con el agua forma ácido nítrico (HNO_3).

El calor de formación del ácido nítrico ($14,1 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$), en condiciones normales de combustión, no se produce y como es artificialmente generado es necesario corregirlo.

Para conocer la “corrección de ácido” que se debe introducir después de la combustión, se valora el líquido de lavado de la bomba con una solución alcalina el Na_2CO_3 0,0709 N.

En cualquier caso lo importante es conocer el contenido de nitrógeno en la muestra y traducirlo a calorías, que la formación de ácido nítrico supone, para así introducirlo como corrección en el equipo.

Corrección de azufre: igual que en el caso anterior el azufre presente en la muestra se oxida a anhídrido sulfúrico (SO_3) y pasa a ácido sulfúrico (H_2SO_4), con un desprendimiento de calor ($72,2 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$). La corrección de azufre elimina este calor artificial que no se produciría en una combustión normal.

Para calcular esta corrección es necesario analizar la muestra con un analizador de azufre y determinar el contenido en azufre de la misma.

Como el equipo permite trabajar de dos formas, o bien se introducen las correcciones manualmente después de cada ensayo o bien se introducen como correcciones fijas, se ha elegido fijar las correcciones de ácido nítrico y azufre e introducir manualmente la corrección de alambre (pues ésta varía significativamente de un ensayo a otro).

Por otra parte cabe comentar las diferencias que existen entre las normas ISO y las ASTM en el tratamiento de las correcciones de ácido nítrico y ácido sulfúrico.

La norma ASTM realiza la valoración del líquido de lavado de la bomba para determinar el ácido total presente, y asume que todo es ácido nítrico con un calor de formación de $14,1 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$. Se determina posteriormente el contenido en azufre y se convierte en equivalentes de ácido sulfúrico. La diferencia entre el calor de formación del H_2SO_4 ($72,2 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$) y el del HNO_3 , se sustrae de la corrección de azufre.

Las otras normas, entre ellas la ISO, tratan las correcciones de H_2SO_4 y HNO_3 separadamente. Ello elimina la necesidad de determinar el ácido total y permite manejar la corrección de nítrico de diferente modo, incluyendo la posibilidad de admitir que es una corrección fija.

Cuando la muestra sea ácido benzoico (durante la estandarización y la calibración posterior), las correcciones que se consideraron fijas son las de ácido y las de azufre y son las establecidas en el manual del equipo:

Corrección de ácido: 10 cal (considerada como mezcla de ácidos).

Corrección de azufre: 0% (considerada como porcentaje).

No se consideró la corrección de alambre como fija, y así se introdujo manualmente después de cada ensayo y después de haber medido el alambre sobrante.

Antes de comenzar con los ensayos definitivos con los biocombustibles elegidos, se realizaron unos ensayos previos que tenían un doble objetivo:

1. *Determinar la Energía Equivalente (EE) del calorímetro (estandarización) y determinar la incertidumbre con la que trabaja el calorímetro (U) (calibración).*
2. *Determinar el efecto de las variables: contenido de azufre, contenido de nitrógeno y peso de la muestra sobre la determinación de poderes caloríficos en biomásas.*

ESTANDARIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL CALORÍMETRO.

Estandarización.

La Energía Equivalente (EE), es propia de cada calorímetro y cada conjunto cubeta-bomba, y se define como la energía necesaria para elevar su temperatura un grado ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

Al estar íntimamente relacionada con la masa del calorímetro variará cada vez que se cambie un elemento del mismo.

La fórmula empleada para su cálculo es:

$$EE = \frac{\text{PCS}(\text{H}')_b \cdot m + c_1 + c_2 + c_3}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 2})$$

siendo: EE = Energía Equivalente ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), $\text{PCS}(\text{H}')_b$ = Poder calorífico superior del ácido benzoico ($6.318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$), m = masa de la pastilla de benzoico ($\approx 1 \text{ g}$), c_1 = corrección para el calor de combustión del alambre (cal), c_2 = corrección para el calor de formación de ácido nítrico (10 cal), c_3 = corrección de azufre (para el benzoico = 0 %), Δt = Incremento de temperatura ($^\circ\text{C}$).

El calorímetro PARR 1261, de acuerdo con las normas ASTM, determina y calcula el valor EE media automáticamente con los diez últimos ensayos, que mantiene en memoria y actualiza con los ensayos adicionales que se realicen, (con una posibilidad de bloquear esta acción y proteger esa EE media calculada con diez ensayos o de tener en cuenta todos los ensayos realizados y calcular esa EE como media de éstos).

El resultado de esta estandarización fue :

Tabla 8.- Resultado de la Estandarización: Valor de EE.

Valor de la Energía Equivalente (EE) del calorímetro isoperibólico	
<i>Media (cal · °C⁻¹)</i>	2413,95
<i>s (cal · °C⁻¹)</i>	2,33
<i>CV (%)</i>	0,096

s = desviación estándar (cal · °C⁻¹) y CV = Coeficiente de Variación (%).

NOTA: en el Anexo I, se presenta el protocolo de estandarización propuesto.

Calibración.

La calibración es una determinación de Poder Calorífico Superior, en la que se utiliza como muestra el patrón establecido, en este caso: el ácido benzoico de poder calorífico conocido.

La fórmula empleada para su cálculo es:

$$\text{PCS(H')}_{\text{b}} = \frac{\text{EE} \cdot \Delta t - c_1 - c_2 - c_3}{m} \quad (\text{Ec. 3})$$

siendo: EE = Energía Equivalente ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), $\text{PCS(H')}_{\text{b}}$ = Poder calorífico del ácido benzoico ($6.318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$), m = Masa de la pastilla de benzoico ($\approx 1 \text{ g}$), c_1 = Corrección para el calor de combustión del alambre (cal), c_2 = Corrección para el calor de formación de ácido nítrico (10 cal), c_3 = Corrección de azufre (para el benzoico = 0 %), Δt = Incremento de temperatura ($^\circ\text{C}$).

El equipo hace una lectura automática y corregida del incremento de temperatura.

El resultado fue que el semiintervalo de incertidumbre es de $U = 7,4 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, de tal forma que las determinaciones posteriores vienen dadas por la siguiente expresión:

$$X = \bar{x} \pm U(K = 2) \quad (\text{Ec. 4})$$

siendo: \bar{x} = determinación media en los ensayos posteriores ($n = 3$), U = Incertidumbre obtenida en la calibración.

NOTA: en el Anexo I, se presenta el protocolo y el estadillo de calibración propuesto.

Control Permanente del calorímetro.

Una vez que se realizó la calibración del aparato, sólo cabe controlar que sigue estandarizado y calibrado de forma sistemática.

Para ello se propuso un protocolo de verificación (para realizar una vez al mes) y en el caso en el que se detectaran errores, se propuso también un protocolo de reestandarización.

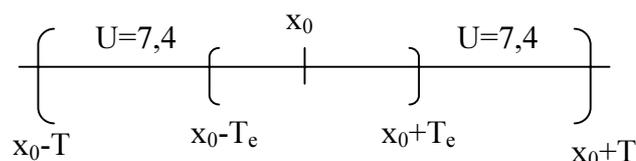
Verificación.

Se trata de comprobar que la determinación del poder calorífico con el patrón elegido: ácido benzoico de $6.318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ está dentro del intervalo de Tolerancia Efectiva.

Con los dos valores obtenidos se hace la media y así se obtiene: \bar{X} , considerado como el valor convencionalmente verdadero y que habrá de cumplir:

$$\bar{X} = x_0 \pm T_e/2. \quad (\text{Ec. 5})$$

siendo: \bar{X} = Valor medio de las dos repeticiones efectuadas en la verificación ($n_v = 2$), x_0 = Valor del patrón considerado ($6.318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$), T_e = Tolerancia efectiva = $T - 2 \cdot U$ ($K=2$), T = Tolerancia especificada a verificar = $50 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, U = Incertidumbre hallada en la calibración previa ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$).



Si el poder calorífico del patrón hallado en la verificación: (\bar{X}), está dentro del intervalo de Tolerancia Efectiva (T_e), el equipo, teniendo en cuenta su Incertidumbre (U), permite garantizar que el calorímetro está todavía estandarizado y la EE con la que opera es la correcta pues sus determinaciones se encuentran dentro del intervalo de tolerancia (T).

Si por el contrario esta lectura no está dentro del intervalo de la Tolerancia Efectiva, no se puede garantizar que el calorímetro continua estandarizado y se procederá de la siguiente forma:

Bien realizar más de tres determinaciones en los ensayos posteriores, es decir, realizar más de tres réplicas por cada experimento elemental, entonces $n \neq 3$, recalculer la Incertidumbre que será menor y de esta forma conseguir que el intervalo de Tolerancia Efectiva sea mayor, o bien, reestandarizar el calorímetro, obteniendo una nueva EE más exacta y adecuada a las nuevas condiciones del calorímetro.

NOTA: en el Anexo I, se presenta el protocolo y el estadillo de verificación propuesto.

Reestandarización.

Recalculer una nueva Energía Equivalente ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), para el calorímetro, cuando en la verificación mensual se resuelva que no existe suficiente garantía de que el calorímetro sigue estandarizado.

Hacer un ensayo (con benzóico), se obtiene así un valor de EE nuevo (y fruto de un solo ensayo), que se denominará como EE_1 . Si este valor varía con respecto al antiguo EE (que es media de los diez ensayos que en su día se hicieron) en $\pm 3,36 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, sería sospechoso, pero no desechar todavía el antiguo valor de EE.

Realizar un nuevo ensayo (con benzóico y en modo estandarización), se obtendrá un segundo valor de EE, la diferencia entre los dos nuevos valores no debe ser superior a $4,48 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ y la media de estos dos nuevos ensayos (que se denominará como EE_2), no debe diferir del antiguo valor de EE en más del $\pm 2,24 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera no desechar todavía el antiguo valor de EE.

Realizar dos ensayos más de tal forma que la máxima diferencia entre estos 4 nuevos valores sea de $7,84 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, y la diferencia de la media de los 4 nuevos ensayos (que se denominará como EE_4) con la media antigua (EE), no será mayor de $\pm 1,68 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera desechar todavía el antiguo valor de EE.

Realizar dos ensayos más de tal forma que la máxima diferencia entre estos 6 nuevos valores sea de $9,52 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, y la diferencia de la media de los 6 nuevos ensayos (que se denominará como EE_6) con la media antigua (EE), no será mayor de $\pm 1,12 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera no desechar todavía el antiguo valor de EE.

Realizar 4 ensayos más de tal forma que la máxima diferencia entre estos 10 nuevos valores sea de $11,2 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, y la diferencia de la media de los 10 nuevos ensayos (que se denominará EE_{10}) con la media antigua (EE), no será mayor de $\pm 0,56 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera, desechar el viejo valor de EE y EE_{10} , será el nuevo valor de la Energía Equivalente del equipo. Todo este proceso queda resumido en la siguiente tabla:

Tabla 9.- Protocolo de Reestandarización.

$x_i =$ n° de ensayos	Valores obtenidos EE_i	Máximo rango entre x_i realizados: $\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	Máxima diferencia entre la media antigua y la nueva media hallada $EE_i: \text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
1	EE_1	-	$EE - EE_1 = \pm 3,36$
2	EE_2	4,48	$EE - EE_2 = \pm 2,24$
4	EE_4	7,84	$EE - EE_4 = \pm 1,68$
6	EE_6	9,52	$EE - EE_6 = \pm 1,12$
10	EE_{10}	11,20	$EE - EE_{10} = \pm 0,56$

NOTA: en el Anexo I, se presenta el protocolo de reestandarización propuesto.

EFECTO DE LAS VARIABLES: PESO DE LA MUESTRA, CONTENIDO DE AZUFRE Y CONTENIDO DE NITRÓGENO SOBRE LA DETERMINACIÓN DE PODERES CALORÍFICOS EN BIOMASAS.

Se decidió no realizar ni la valoración del líquido de lavado de la bomba, para la determinación del contenido de nitrógeno, ni el análisis, para la determinación del contenido en azufre, pues en la determinación de PCS de biomasa las normas no exigen el empleo de estas correcciones, debido a que en este tipo de materiales el contenido en azufre y nitrógeno suele ser muy pequeño.

Sin embargo, y en un intento de incrementar la precisión no se consideraron cero y se tuvieron en cuenta los valores medios de contenido en azufre y nitrógeno de biomosas dados por laboratorios acreditados.

Estos valores se introducen en el calorímetro como correcciones fijas:

Contenido en azufre de la biomasa: < 0,1%. Se toma para las determinaciones posteriores un contenido de 0,05% de azufre.

Contenido en nitrógeno de la biomasa: varía de 0,2 a 1%. Se toma para las determinaciones posteriores un contenido de 0,5% de nitrógeno.

El equipo permite introducir la corrección de azufre como tanto por ciento (%) y él mismo lo convierte en calorías, teniendo en cuenta una serie de factores de conversión ya introducidos en el propio equipo, ésta conversión es:

$$\frac{0,05\text{g S}}{100\text{g muestra}} \cdot 1\text{ g muestra} \cdot \frac{1\text{mol S}}{32,06\text{g S}} \cdot \frac{1\text{mol H}_2\text{SO}_4}{1\text{mol S}} \cdot \frac{2\text{eq H}_2\text{SO}_4}{1\text{mol H}_2\text{SO}_4} \cdot \frac{1.000\text{milieq H}_2\text{SO}_4}{1\text{eq H}_2\text{SO}_4} \cdot \frac{36,1\text{cal}}{1\text{milieq H}_2\text{SO}_4} = 1,126 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$$

(Ec. 6)

Sin embargo la corrección de ácido hay que introducirla como “ml de álcali Na₂CO₃ 0,0709 N”, que se usaría para la valoración. El contenido en N que se va a considerar en las muestras es de 0,5%, que equivale a 5,0373 ml de Na₂CO₃ 0,0709 N y la conversión que hay que hacer para obtener este valor es:

$$\frac{0,5\text{ g N}}{100\text{ g muestra}} \cdot \frac{1\text{mol HNO}_3}{14\text{g N}} \cdot \frac{1\text{eq HNO}_3}{1\text{mol HNO}_3} = 3,57 \cdot 10^{-4} \text{ eq HNO}_3 \cdot \text{g}^{-1}$$

(Ec. 7)

En la valoración, la neutralización del ácido con el álcali se efectúa equivalente a equivalente:

$$3,57 \cdot 10^{-4} \frac{\text{eq HNO}_3}{\text{g muestra}} \cdot \frac{3,57 \cdot 10^{-4} \text{ eq Na}_2\text{CO}_3}{3,57 \cdot 10^{-4} \text{ eq HNO}_3} \cdot \frac{11 \text{ Na}_2\text{CO}_3}{0,0709 \text{ eq Na}_2\text{CO}_3} \cdot \frac{1.000 \text{ ml Na}_2\text{CO}_3}{11 \text{ Na}_2\text{CO}_3} =$$

5,0373 ml de Na₂CO₃ 0,0709 N por cada g de muestra. (Ec. 8)

Si se quiere introducir esta corrección como calorías (posibilidad que el calorímetro permite también), la conversión sería:

$$3,57 \cdot 10^{-4} \frac{\text{eq HNO}_3}{\text{g muestra}} \cdot \frac{14,1 \text{ kcal}}{1 \text{ eq HNO}_3} \cdot \frac{1.000 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}} = 5,0357 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}. \quad \text{(Ec. 9)}$$

La relación entre ambas magnitudes es próximo a la unidad:

$$1 \text{ ml Na}_2\text{CO}_3 \text{ 0,0709 N} = 0,99937 \text{ cal.}$$

$$1 \text{ cal} = 1,0003 \text{ ml Na}_2\text{CO}_3 \text{ 0,0709 N.}$$

Como se va a trabajar con estas estimaciones se hizo necesario estudiar el efecto que esta suposición conlleva, determinando así la variación de los poderes caloríficos de una misma muestra para distintos contenidos posibles de azufre y de nitrógeno.

Además en la determinación de poderes caloríficos (cal · g⁻¹) de biomasa existe un problema: el tamaño de la muestra.

Si bien en los calorímetros se suele trabajar con un gramo del material cuyo poder calorífico se quiere conocer, cuando dicho material es biomasa, y debido a su pequeña densidad, las muestras de un gramo son demasiado grandes, en volumen, para introducirlas en las cápsulas y de difícil preparación, con lo cual la combustión no es perfecta.

Si se opta por realizar “pastillas” de muestra de menos de un gramo de peso, es necesario estudiar: el efecto, en las medidas del calorímetro, de esta reducción en el peso de la muestra tipo y el efecto que una diferencia de peso supone entre réplicas dentro del mismo ensayo.

Resumiendo, fue necesario estudiar el efecto de tres variables (ó factores) que varían entre unos niveles conocidos. Se realizó un diseño factorial del tipo 2³, en el que tres factores varían entre dos niveles, para ello se hicieron (2x2x2) = 8 experimentos elementales en los que se consideraron todas las combinaciones posibles.

Los factores a estudiar y los niveles considerados fueron:

Peso de la “pastilla tipo” que servirá de muestra: los dos niveles que se consideraron fueron 0,2 g y 0,5 g . Se vió así el efecto que tiene la variación de 0,3 g entre dos réplicas, así como si la determinación de poderes caloríficos, realizados con el calorímetro, de muestras distintas de 1 g aportaba valores significativamente diferentes.

Contenido de azufre (para efectuar la “corrección de azufre”): Los laboratorios acreditados determinan que la concentración máxima de azufre en biomasas es 0,1%. Se estudió el efecto que produciría en el PCS el introducir un error en este factor de 0,08%, así se determinó el PCS para niveles de 0,02% de contenido en S y de 0,1% de S.

Contenido de nitrógeno (para efectuar la “corrección de ácido”): Los laboratorios acreditados determinan que la concentración de nitrógeno varía entre 0,2% a 1%. Se estudió el efecto que produciría en el PCS el introducir un error en este factor de 0,8%, así se determinó el PCS para niveles de 0,2% de contenido en N y de 1% de N.

Tabla 10.- Diseño Factorial 2³ : para el estudio del efecto del peso de la muestra, del contenido de azufre y de nitrógeno sobre la determinación de poderes caloríficos.

DISEÑO FACTORIAL 2³					
FACTORES(3)		código		NIVELES DE ESTUDIO (2)	
		<i>Valor</i>	<i>Código</i>	<i>Valor</i>	<i>Código</i>
Peso de la muestra	P	0,2 g	-	0,5 g	+
Contenido en azufre	S	0,02 %	-	0,1 %	+
Contenido en nitrógeno	N	0,2 %	-	1 %	+

Los resultados obtenidos después de realizar los ensayos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11.- Diseño factorial 2³: Resultados de ensayos realizados con el calorímetro.

Id n = 8				Tres repeticiones por ensayo			Totales	Media en cada ensayo PCS(0) cal · g ⁻¹
	P	S	N	PCS(0) (cal · g ⁻¹) r = 3				
1	-	-	-	5016,44	5051,56	5050,83	15118,82	5039,61
2	+	-	-	5044,01	5034,25	5002,00	15080,27	5026,76
3	-	+	-	5014,50	5049,63	5048,90	15113,03	5037,68
4	+	+	-	5042,08	5032,33	5000,07	15074,48	5024,83
5	-	-	+	5007,81	5042,93	5042,20	15092,93	5030,98
6	+	-	+	5035,39	5025,63	4993,38	15054,41	5018,14
7	-	+	+	5005,88	5041,00	5040,27	15087,15	5029,05
8	+	+	+	5033,45	5023,71	4991,46	15048,61	5016,20
							120669,71	5027,90
							Total general	Media general

Se realizó una tabla de coeficientes de contrastes y los resultados obtenidos fueron:

Tabla 12.- Tabla de los coeficientes de contrastes.

Id	PCS(0) cal · g ⁻¹							
		P	S	N	PxS	PxN	SxN	PxSxN
1	5039,61	-	-	-	+	+	+	-
2	5026,76	+	-	-	-	-	+	+
3	5037,68	-	+	-	-	+	-	+
4	5024,83	+	+	-	+	-	-	-
5	5030,98	-	-	+	+	-	-	+
6	5018,14	+	-	+	-	+	-	-
7	5029,05	-	+	+	-	-	+	-
8	5016,20	+	+	+	+	+	+	+
5027,90		-12,85	-1,93	-8,63	0,00	0,004	0,00	-0,002

La Tabla 12 se explica en la Tabla 13, que a continuación se presenta, en la que se ve que el efecto de incrementar el peso de la “pastilla muestra” en 0,3 g (de 0,2 g a 0,5 g), independientemente del nivel de los otros factores, provoca una disminución en la respuesta de 12,85 cal · g⁻¹.

El efecto del incremento del contenido de azufre en la muestra de 0,02% a 0,1%, produce una reducción en la respuesta de 1,93 cal · g⁻¹, independientemente de los demás factores.

Mientras que el incremento del contenido de nitrógeno en la muestra de unos niveles de 0,2% a 1%, independientemente del nivel de las otras variables, reduce la respuesta en $8,63 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

Como se puede observar los efectos de la variación de cualquiera de estos tres factores a los niveles prefijados no es significativo, teniendo en cuenta su tolerancia efectiva ($42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$).

Tabla 13.- Presentación final de los resultados del diseño factorial.

<u>Efecto</u>	<u>Estimación \pm Tolerancia efectiva</u>
Media:	$5027,90 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
Efectos principales:	
P:	$-12,85 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
S:	$-1,93 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
N:	$-8,63 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
Interacciones:	
PxS:	$0,00 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
PxN:	$0,004 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
SxN:	$0,00 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.
PxSxN:	$0,002 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \pm 42,60 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

Para poderlo juzgar con más precisión, ya que se dispone de 3 réplicas de cada experimento elemental, se realizó un análisis de varianza y una prueba F para estudiar si la desviación producida en la respuesta (PCS) por la variación de cada uno de los factores era significativamente distinta a la desviación producida por errores experimentales esperables en la determinación del PCS para diferentes muestras.

Se propuso la verificación de la hipótesis nula (H_0), siendo ésta la ausencia de efectos, es decir se procedió a verificar la probabilidad de que las diferencias obtenidas ocurrieran al azar y no debido a ningún efecto externo.

Existían sólo dos fuentes de variación a estudiar: entre réplicas dentro de una misma combinación de factores (o experimento elemental), a la cual se le denomina error experimental y aquella entre las 8 medias de los 8 experimentos elementales (que sería debida al efecto producido sobre la respuesta de alguno de los factores en estudio):

Tabla 14.- Análisis de Varianza: Experimento elemental = combinación de factores

$$C = 606715764,62$$

Fuente de Variación	gl	Sumas de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F observado	F requerido	
					5%	1%
Total	24	8548,31				
Exp.elemental (combinación factores)	7	1459,05	208,44	0,47ns	2,66	4,03
Error	16	7089,27	443,08			

ns: no significativo.

El valor de $F = 0,47$ obtenido conduce a la conclusión de que se podría esperar tales diferencias bastante frecuentemente sólo por casualidad (por un llamado error experimental inevitable), no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no se tienen evidencias de un efecto real de los tres factores estudiados sobre la respuesta.

Con estos ensayos realizados las conclusiones finales obtenidas son:

Un incremento del peso de la “pastilla tipo” en 0,3 g sólo consiguió incrementar el poder calorífico en $12,85 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, efecto no significativo. Por lo tanto entre réplicas del mismo ensayo puede haber diferencias de peso sin que esto conlleve una variación significativa en la determinación del poder calorífico superior.

Introducir un error de 0,08% de contenido en azufre en la muestra sólo consiguió variar el poder calorífico en $1,93 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, efecto menor al detectado con la variación de peso de la muestra.

Introducir un error de 0,8% de contenido de nitrógeno en la muestra sólo consiguió variar el poder calorífico en $8,63 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$. Este, aun siendo el efecto más importante, resultó no significativo.

Se observó que ninguno de estos tres factores interaccionaban entre sí, siendo sus reducidos efectos sobre la respuesta totalmente independientes.

La mayor diferencia entre ensayos se detectó cuando la homogeneidad de la muestra no era perfecta. Se hace preciso pues: el picado previo del material y un mezclado homogéneo del mismo para que la “pastilla tipo” tenga un volumen tal que permita la correcta combustión, con independencia del peso que posean.

4.2.2.- ENSAYOS DEFINITIVOS.

Los ensayos definitivos se pueden agrupar en tres apartados:

A.- Determinación del poder calorífico de los materiales elegidos:

Para ello se realizó la combustión de las muestras en calorímetro isoperibólico, paralelamente al secado de las mismas en estufa (determinación de la humedad), obteniendo la curva que refleja la variación del poder calorífico ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) con respecto al contenido de humedad del material (%).

B.- Secado forzado de las muestras con distintas condiciones de operación:

Se tienen en cuenta tres factores de variación derivados de las condiciones de secado: velocidad y temperatura de entrada del aire de secado y tiempo de residencia del material a secar y un factor de variación derivado de las condiciones de entrada del material: humedad inicial de éste.

Se estudia el efecto de estos factores sobre la reducción de humedad de las muestras en este proceso de secado.

Se presentan a la vez los resultados de los balances de agua realizados para cada uno de los ensayos.

C.- Estudio del consumo energético en el secado forzado:

Durante el secado se registró el aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) y todos los parámetros necesarios para la elaboración de los balances de energía correspondientes.

Se realiza el estudio energético del secado forzado en el que se compara, para cada ensayo, el incremento en el poder calorífico del material, debido a la reducción de humedad, con el aporte energético necesario para esta reducción

Se elaboran las curvas que relacionan el aporte energético con la humedad reducida en el proceso.

A.- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.

Recogida de muestras.

Para la recogida del material que iba a servir para los ensayos, nos pusimos en contacto con distintas explotaciones de la provincia de León, para que nos proporcionaran los restos vegetales suficientes para los ensayos.

Los restos de maíz son de una explotación agrícola situada en Castrofuerte (León), los restos de cebada son de la propia finca que la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria tienen en León y la Cynara pertenece a una explotación, situada en Sahelices del Payuelo (León) que pertenece a la Junta de Castilla y León y que es explotada por la empresa TRAGSA.

Acondicionamiento de las muestras.

Una vez en el laboratorio, el material se mantuvo al aire y no en bolsas de plástico, pues se ha comprobado que en muchos casos, estos residuos llegan suficientemente húmedos como para que se produzcan pudriciones indeseables. Si éstas se produjeran, se alteraría la composición química y por tanto también el poder calorífico.

Procedimiento operativo.

La combustión de las muestras en bomba calorimétrica se realiza siguiendo el procedimiento para la determinación del PCS (H') que deriva de las normas ASTM D2382.- “Heat of combustion of hydrocarbon fuels by bomb calorimeter (high-precision method)”, ASTM D2015.- “Gross calorific value of solid fuel by the adiabatic bomb calorimeter” e INTA 150229C (correspondencia con ASTM D240).- “Calor de combustión de combustibles líquidos”.

Se prepara una pastilla del combustible a ensayar, de aproximadamente un gramo de masa. Dicha pastilla se coloca en una “cápsula de combustión” que se suspende de la tapa de la bomba (recipiente de acero inoxidable) mediante un soporte especial.

Se coloca un alambre fusible en contacto con la pastilla, suspendido de la tapa de la bomba donde existen dos electrodos y se cierra herméticamente la bomba.

Mediante una válvula, situada en la tapa de la bomba, se introduce oxígeno hasta alcanzar una presión entre 20 a 30 atmósferas.

La bomba se coloca dentro de una cubeta con agua con una temperatura de 30°C, que se deposita en el seno del calorímetro, aislado del exterior mediante una camisa de agua de temperatura fija (35°C) que evita las pérdidas de calor al exterior.

Mediante los dos electrodos se hace llegar una corriente eléctrica que atraviesa el alambre fusible en contacto con la pastilla. Al hacer llegar la corriente al hilo, éste funde y se quema la pastilla de combustible, cediendo su calor de combustión, a través de las paredes de la bomba, al agua de la cubeta. El aparato mide el incremento de temperatura (Δt) de este agua y así se puede determinar el poder calorífico superior del combustible.

Este valor obtenido por combustión en la bomba de oxígeno es la dada por la Ecuación 10. Se realiza por triplicado.

$$PCS(H') = \frac{EE \cdot \Delta t - c_1 - c_2 - c_3}{m} \quad (\text{Ec. 10})$$

siendo: PCS(H') = Poder calorífico con humedad H' (b.h.) ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$), EE = Energía Equivalente = $2413,95 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, m = Masa de la pastilla muestra (g), c_1 = Corrección para el calor de combustión del alambre (cal), c_2 = Corrección para el calor de formación de ácido nítrico (cal), c_3 = Corrección para el calor de formación de ácido sulfúrico (cal), Δt = Incremento de temperatura ($^\circ\text{C}$).

Paralelamente se realiza la determinación de la humedad de las muestras en estufa. Para ello se sigue el procedimiento que deriva de las normas ASTM D 2016-65 “Moistures content of wood” y ASTM 871-872 “Moistures analisis of particle fuels”.

Dicho procedimiento consiste en la desecación de la muestra (por triplicado) a una temperatura de $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante. Con ello se obtiene la humedad en base húmeda H'(b.h).

Posteriormente se calculan matemáticamente:

H (Humedad en base seca, b.s., en adelante) en %:

$$H = \frac{H' \cdot 100}{100 - H'} \quad (\text{Ec. 11})$$

PCS (0) o Poder Calorífico Superior con 0 % de humedad ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$):

$$PCS(0) = \frac{PCS(H') \cdot 100}{100 - H'} = \frac{PCS(H) \cdot (100 + H)}{100} \quad (\text{Ec. 12})$$

PCS (H) o Poder Calorífico Superior con una humedad H (b.s.) ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$):

$$\text{PCS(H)} = \frac{\text{PCS(0)} \cdot 100}{100 + H} \quad (\text{Ec. 13})$$

PCI (H') o Poder Calorífico Inferior con una humedad H' (b.h.) ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$):

$$\text{PCI(H')} = \frac{\text{PCS(0)} \cdot (100 - H')}{100} - 582,18 \cdot \left[9 \cdot h / 100 \cdot \frac{(100 - H')}{100} + \frac{H'}{100} \right] \quad (\text{Ec. 14})$$

PCI (H) o Poder Calorífico Inferior con una humedad H (b.s.) ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$):

$$\text{PCI(H)} = \frac{\text{PCS(0)} \cdot 100}{100 + H} - \frac{582,18 \cdot 100}{100 + H} \cdot \left(9 \cdot h / 100 + \frac{H}{100} \right) \quad (\text{Ec. 15})$$

PCI (0) o Poder Calorífico Inferior con 0 % de humedad ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$):

$$\text{PCI(0)} = \text{PCS(0)} - 582,18 \cdot (9 \cdot h / 100) = \text{PCS(0)} - 314,38 \quad (\text{Ec. 16})$$

Finalmente se presentan las curvas de PCS(H'), PCI(H'), PCS(H) y PCI(H).

B.- SECADO FORZADO.

Parámetros medidos.

1. *Parámetros del aire medidos a la entrada.*

Velocidad del aire de entrada en el secadero: **V (m · s⁻¹)** para ello se instaló una sonda térmica de velocidad en el tubo de entrada del aire de secado al secadero. La medida de este parámetro nos permite conocer la masa de aire G (g aire seco) que atraviesa el material a secar durante el secado:

$$G (\text{g aire seco}) = V (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot S (\text{m}^2) \cdot t (\text{h}) \cdot 3600 (\text{s} \cdot \text{h}^{-1}) \cdot \delta (\text{kg aire húmedo} \cdot \text{m}^{-3}) \cdot 1000 (\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot (1/(1+H_{ge})) (\text{g aire seco} \cdot \text{g}^{-1} \text{aire húmedo})$$

Humedad específica del aire de entrada en base seca: **H_{ge} (g agua · g⁻¹ aire seco)**, para obtener este parámetro se midió la humedad relativa ambiental (HRamb en %) y la temperatura ambiental (Tamb en °C).

La temperatura del aire en la entrada: **T_{ge} (°C)** se instaló una sonda de temperatura a la entrada del secadero para determinar este parámetro.

2. *Parámetros del aire medidos a la salida.¹*

La Humedad específica del aire de salida en base seca: **H_{gs} (g agua · g⁻¹ aire seco)**, para obtener este parámetro se midió la humedad relativa (HRgs en %) y la temperatura del aire a la salida (Tgs en °C), mediante una sonda combinada en la que también se obtiene el punto de rocío (Pr en °C) del aire a la salida.

La temperatura del aire a la salida del secadero: **T_{gs} (°C)** parámetro medido con la sonda combinada anterior.

3. *Parámetros del sólido medidos a la entrada.*

Peso húmedo a la entrada: **She (g sólido húmedo)** con las células de carga se puede conocer este peso inicial introducido en el secadero.

La humedad en base húmeda con que el sólido entra en el secadero: **H'se (g agua · g⁻¹ sólido húmedo)** este parámetro se puede determinar por desecación en estufa de una muestra testigo o bien, como se expone más adelante.

¹ La masa de aire en la salida es la misma que la masa de aire en la entrada del secadero.

La temperatura del sólido a la entrada: Tse (°C) la temperatura del sólido cuando entra en el secadero será la temperatura ambiental medida ya anteriormente (Tamb en °C).

4. *Parámetros del sólido medidos a la salida.*

Peso húmedo a la salida: Shs (g sólido húmedo) dato proporcionado por las células de carga.

La humedad en base húmeda a la salida: H'ss (g agua · g⁻¹ sólido húmedo) , mediante determinación en estufa se conoce este valor. Se calcula el peso seco de material introducido Ps (g) mediante la Ecuación 17:

$$Ps = Shs \cdot \left(1 - \frac{H'ss}{100}\right) \quad (\text{Ec. 17})$$

Este valor Ps (g) será constante en el proceso, es decir, será igual a la entrada y la salida, por lo tanto es posible calcular la humedad en la entrada por la expresión siguiente sin tener que haber hecho la determinación en estufa:

$$H'se = \frac{She - Ps}{She} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 18})$$

La temperatura del sólido a la salida: Tss (°C) esta temperatura se mide de forma puntual al final del ensayo con la sonda de inmersión.

Resumiendo los parámetros medidos a la entrada y a la salida del secadero son:

Tabla 15.- Parámetros medidos a la entrada y la salida del secadero.

PRODUCTO	Parámetros	ENTRADA		SALIDA	
		Símbolo	Unidad	Símbolo	Unidad
AIRE	<i>Velocidad</i>	V	m · s ⁻¹		
	<i>Humedad (b.s.)</i>	Hge	g agua · g ⁻¹ aire seco	Hgs	g agua · g ⁻¹ aire seco
	<i>Temperatura</i>	Tge	°C	Tgs	°C
SOLIDO	<i>Peso húmedo</i>	She	g sólido húmedo	Shs	g sólido húmedo
	<i>Humedad (b.h.)</i>	H'se	g agua · g ⁻¹ sólido húmedo	H'ss	g agua · g ⁻¹ sólido húmedo
	<i>Temperatura</i>	Tse	°C	Tss	°C

Todo esto se hace para un determinado “tiempo de secado” (tiempo de residencia del material a secar en el interior del secadero): **t (h)**.

Se resume a continuación los parámetros que han sido, o bien, registrados a lo largo de cada uno de los ensayos con determinado intervalo, o bien, anotados de forma puntual en un momento determinado del ensayo con cada uno de los aparatos instalados en el secadero:

Con el **SAD (datalogger)** se registraron los siguientes parámetros durante los ensayos:

Tabla 16.- Parámetros registrados con las sondas instaladas en el secadero.

Parámetros del AIRE.	ENTRADA		SALIDA		
	V ($m \cdot s^{-1}$)	Tge (°C)	HRgs (%)	Tgs (°C)	Pr (°C)
Descripción	Velocidad	Temperatura	Humedad relativa*	Temperatura de salida	Punto de rocío*

*para determinar la humedad específica del aire en la salida.

De forma puntual y al finalizar el ensayo se midió: **Tss (°C)**, temperatura del sólido a la salida del secadero.

Con un **higrómetro-termómetro** ambiental se midió:

Tabla 17.- Parámetros medidos con el higrómetro-termómetro ambiental.

Parámetros	Tse (°C)=Tamb (°C)	HR amb (%)
Descripción	Temperatura de entrada del sólido en el secadero	Humedad relativa ambiental*

*para determinar junto con la temperatura (Tamb ó Tse) la humedad específica del aire en la entrada.

Con el **analizador de redes** se registró a lo largo de los ensayos:

La energía consumida durante el proceso de secado (kWh).

Con las **células de carga** se registró a lo largo de los ensayos:

El peso húmedo del material introducido al inicio y al final del ensayo, así como la reducción del peso húmedo del material durante el proceso de secado.

Diseño de los ensayos.

El objetivo inicial de los ensayos de secado es determinar si existe o no algún efecto de unos factores en la respuesta (siendo ésta los puntos de humedad reducidos, en tanto por ciento) y a que nivel de significación se produce dicho efecto. Se considera que existen tres factores de variación asociados a las condiciones de secado y un factor de variación asociado a las condiciones de entrada del material en el secadero:

Condiciones de secado en el secadero: La velocidad del aire de entrada en el secadero (**V**); La temperatura de este aire de secado (**T**); El tiempo de secado o tiempo de residencia del material dentro del secadero (**t**).

Condiciones del material de secado: Humedad (b.h.) inicial del material (**H**).

Se hizo un diseño en bloques al azar para la realización de los ensayos de tal forma que se consideró que la reducción de humedad (Respuesta del ensayo) era debida a:

Los tratamientos dados, A, B, C, D, E, F, G, H e I.

Los bloques I, II y III.

Para la elección de los niveles de los factores de secado debidos al secadero se tiene en cuenta que se trata de secar biomasa pero sin olvidarnos de que se pretende utilizar un secadero de lúpulo. Para ello los factores de secado (velocidad y temperatura del aire de secado principalmente) se eligen acomodándose a las características del proceso de secado de lúpulo.

Él lúpulo se debe secar con una temperatura entre 50°C y 60 °C (lo que se llamaría “a media temperatura”, 45 a 65 °C, Nonhebel, 1979) con aire a una velocidad que varía desde los $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ hasta los $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Leskovar, 1978).

Así los niveles de velocidad del aire de secado elegidos para los ensayos han sido alrededor de estos valores dados para el secado de lúpulo, aunque sean menores que los típicos del secado de biomasa forestal ($1,50$ a $2,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, Ciria, 1997) por dos razones:

Por una parte el secadero de lúpulo, de bandejas, es diferente a los secaderos rotativos utilizados para el secado de biomasa forestal, en los que además de secar, el aire sirve de vehículo de transporte y por otra parte el arrastre de material para los restos herbáceos es mucho mayor, lógicamente, que en los restos forestales.

Sin embargo y en un intento de acelerar el proceso, esta velocidad se ha forzado por encima de $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, exactamente se ha llegado hasta $0,85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en la que estaría el límite para que se produzca el arrastre de las partículas.

Los niveles elegidos para la temperatura de secado para los ensayos se reducen también, en comparación con los valores dados para el secado de biomasa (90°C a 165°C , Ciria, 1997), para acomodarse a las características del secado de lúpulo e incluso, inferiores a estos valores, para así conseguir un menor consumo energético al verse éste incrementado por la decisión de aumentar ligeramente la velocidad en el secado.

El tiempo de secado se eligió, evidentemente, en base a unos ensayos previos que indicaron que eran los niveles necesarios para que el consumo no se incrementara innecesariamente, una vez fijados la velocidad y la temperatura de secado.

Los tres niveles elegidos para cada uno de los tres factores figuran en la tabla siguiente:

Tabla 18.- Niveles de los factores asociados a las condiciones de secado en el secadero en cada uno de los ensayos.

Factores						
Niveles	V ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		T ($^{\circ}\text{C}$)		t (h)	
	V1	15	T1	50	t1	0,75
	V2	10	T2	45	t2	0,50
	V3	6	T3	40	t3	0,25

NOTA: El caudal de aire en la salida (o en cualquier otro punto del secadero) será el mismo que en la entrada: $V_e \cdot A_e = V_n \cdot A_n$; siendo: V_e = velocidad del aire en la entrada ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); A_e = sección del tubo de entrada; V_n = velocidad del aire en un punto “n” del secadero; A_n = sección en un punto “n” del secadero.

Por lo tanto, aunque se definen los ensayos con la velocidad de entrada del aire al secadero medida en el tubo ($A_{\text{tubo}} = 0,0121 \text{ m}^2$), ésta se corresponde con una velocidad en la base de las bandejas de ($A_{\text{bandejas}} = 0,2178 \text{ m}^2$):

Tabla 19.- Velocidad del aire de entrada al secadero medida en el tubo y en la base de las bandejas.

V en el tubo ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		V en la base de las bandejas ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	
V1	15	V1	0,85
V2	10	V2	0,60
V3	6	V3	0,35

Se realizaron veintisiete ensayos en total que son el resultado de nueve tratamientos agrupados en tres bloques.

Estos veintisiete ensayos independientes se realizaron en un orden aleatorio y con distintas humedades iniciales del material (diferentes niveles según el material considerado).

Primero se estudió el efecto del factor “humedad inicial del material” sobre la respuesta, independientemente de las condiciones de secado del secadero.

Posteriormente se estudió si existía interacción entre cada uno de los tres factores de variación del secadero (V, T y t) y la humedad inicial del material, realizando un análisis de varianza en el que los experimentos elementales eran las combinaciones (V,H), (T,H) y (t,H), con tres repeticiones cada una.

Por último se estudió el efecto de las condiciones de secado (factores de variación del secadero) sobre la respuesta y para ello se estimó la probabilidad de que se produjera una desviación en la respuesta debida o a los distintos bloques o a los distintos tratamientos con que se llevaron a cabo los ensayos, significativamente distinta a la desviación producida por errores experimentales esperables.

Si estos análisis conducen a la conclusión de que se podría esperar diferencias bastante frecuentemente sólo por casualidad (por un llamado error experimental inevitable), se concluiría que no se tienen evidencias de un efecto real de los factores estudiados, o sus interacciones, sobre la reducción de humedad.

Si los análisis indicaran que las diferencias observadas rara vez podrían ocurrir aleatoriamente, se concluiría que los factores, o sus interacciones, tienen efecto real sobre la respuesta en los ensayos y a qué nivel de significación.

Procedimiento operativo.

Para realizar cada uno de los 27 ensayos se siguen los siguientes pasos:

1. Puesta en marcha de todos los aparatos:

El secadero: encendido de las resistencias de caldeo, y del motor-ventilador, a la vez que se fija en el termostato la temperatura de entrada del aire (T) que va a definir el ensayo.

El analizador de redes: procediendo al borrado de medidas anteriores y de archivos anteriores.

El SAD: realizando también el borrado de todos los informes anteriores que estén almacenados en la memoria.

El ordenador conectado a las células de carga: definiendo el nuevo archivo donde se guardarán de forma automáticamente los datos registrados.

2. Configurar, en cada caso, la toma de datos de cada uno de los aparatos instalados para el registro de los mismos:

En el Datalogger y las células de carga, se introduce el intervalo de toma de datos que será el que se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 20.- Intervalo de toma de datos.

Tiempo total del ensayo: t (h)		Intervalo de toma de datos (s)	Nº total de datos registrados
t1	0,75	15	180
t2	0,50	10	
t3	0,25	5	

En el analizador de redes se configura tanto el período de inicio y final del ensayo: <start> Fecha y Hora y <stop> Fecha y Hora, como el intervalo de toma de datos que será el mismo que en el caso anterior.

3. Mientras la temperatura del secadero se estabiliza automáticamente mediante el termostato instalado, se procede al llenado de las bandejas con el material que se desea secar (no será necesario pesar este material, pues en cuanto se cuelguen las bandejas en las células de carga, éstas registran el peso húmedo inicial del material introducido, ya que las cestas están previamente taradas).

4. Una vez estabilizada la temperatura y poco antes de que se produzca automáticamente el <start> señalado en el analizador, se cuelgan las bandejas de las células, dentro del secadero.

5. Inmediatamente el analizador comenzará a registrar datos (con el intervalo configurado), a la vez que se pulsa el <start> de las células y el <1> (función de inicio) del datalogger, que comenzarán también a registrar los datos con la cadencia preestablecida.

6. Se toma nota de la HRamb (%) y de la Tamb (°C) ambiental leídos en el higrómetro-termómetro ambiental, que definirá la Tse (que como ya se comentó será la temperatura del sólido a la entrada del secadero) y la Hge (será la humedad del aire a la entrada).

7. Después de pasado el tiempo t (h) que va a definir el ensayo, el analizador terminará automáticamente de registrar datos, con la función <stop> definida en configuración, presionando el comando <stop> se detendrá el registro de las células de carga y presionando <1> se detendrá el registro de datos por el datalogger.

8. Se descuelgan de las células de carga las bandejas con el material secado e inmediatamente se mide mediante la sonda de temperatura por inmersión la temperatura de salida del sólido (T_{ss} (°C)) y se toma una muestra testigo para la determinación de humedad por desecación en estufa que será la humedad del sólido a la salida del secadero: H'_{ss} (g agua · g⁻¹ sol. húmedo).

9. Se procede a la descarga de todos los datos registrados: en el analizador, en el datalogger y en las células de carga.

10. Elaboración de la Base de Datos correspondiente.

Recuperación de datos.

Los datos registrados se almacenan en tres archivos diferentes:

Tabla 21.- Parámetros registrados con el Analizador.

Código del Parámetro registrado	Unidad	Descripción <i>(Archivo: Consumo.xls)</i>
Date/Time	-	Fecha y Hora
L1 amps Avg	A	Intensidad media de la fase L1
L2 amps Avg	A	Intensidad media de la fase L2
L3 amps Avg	A	Intensidad media de la fase L3
Aux Inst	A	Intensidad instantánea del neutro
3 ph Watts Avg	W	Potencia media de L1+L2+L3
L1 Watts Avg	W	Potencia media de L1
L2 Watts Avg	W	Potencia media de L2
L3 Watts Avg	W	Potencia media de L3
3 ph PF Avg	-	Factor de potencia de la instalación trifásica (cos ϕ)
L1 PF Avg	-	Factor de potencia de la línea L1 (cos ϕ)
L2 PF Avg	-	Factor de potencia de la línea L2 (cos ϕ)
L3 PF Avg	-	Factor de potencia de la línea L3 (cos ϕ)
3 ph kWh*	kWh	Energía activa de la instalación trifásica
L1 kWh	kWh	Energía activa de la línea L1
L2 kWh	kWh	Energía activa de la línea L2
L3 kWh	kWh	Energía activa de la línea L3
3 ph kVArh	kVArh	Energía reactiva de la instalación trifásica
L1 kVArh	kVArh	Energía reactiva de la línea L1
L2 kVArh	kVArh	Energía reactiva de la línea L2
L3 kVArh	kVArh	Energía reactiva de la línea L3

* dato utilizado .

Tabla 22.- Parámetros registrados con el SAD.

Sonda	Código del parámetro registrado	Descripción (Archivo: Sondas.xls)
		Fecha
	Hora	Hora
A	$m \cdot s^{-1}$	V velocidad del aire en el tubo de entrada del secadero
	$m^3 \cdot s^{-1}$	Q caudal de aire en el tubo de entrada (1)
	$^{\circ}C$	T ^a del aire en el tubo (2)
B	$^{\circ}C$	“Tge” temperatura del aire de secado
C	%rF	“HRgs” Humedad relativa del aire a la salida
	$^{\circ}C$	“Tgs” temperatura del aire a la salida
	td $^{\circ}C$	“Pr” Punto de rocío del aire a la salida

NOTA: (1) La sonda calcula y registra automáticamente.

(2) Esta temperatura no se corresponde con la de secado, pues esta sonda está ubicada en el tubo, antes de las resistencias.

Tabla 23.- Parámetros registrados con las células de carga.

Código del parámetro registrado	Descripción (Archivo: Peso.xls)
AI2	Peso instantáneo registrado por la célula izquierda (cesta izquierda) (kg)
AI3	Peso instantáneo registrado por la célula derecha (cesta derecha) (kg)

Tratamiento de datos y presentación de resultados.

Se elaboró un balance de materia y de energía para cada uno de los ensayos, para ello se hizo necesario realizar una serie de pasos previos que se describen a continuación:

Obtención de la humedad del aire de secado a la entrada y la salida del secadero (HOJA A en Anexo II):

1. Se cuenta como datos iniciales con la altitud (h) y la latitud (ϕ) de la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria (lugar de realización de los ensayos):

$$h = 818 \text{ m y } \phi = 42,58^{\circ}.$$

2. Cálculo de la gravedad (g) en esta zona en función de la altitud y la latitud (h = altura sobre el nivel del mar (m), ϕ = latitud de la zona):

$$g = 980,618 - 2,586 \cdot \cos 2\phi + 0,003 \cdot \cos 4\phi - 0,0003086 \cdot h \quad (\text{Ec. 19})$$

3. Cálculo de (p – pv) con la temperatura ambiental (Tamb en °C) registrada por el higrómetro-termómetro ambiental y según la Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera:

$$(p - p_v) = p_2 = \frac{p_1}{e^{\frac{g \cdot h}{R \cdot T}}} \quad (\text{Ec. 20})$$

siendo: p₂ = presión atmosférica en la zona en el momento del ensayo (mm de Hg); p₁ = 760 mm de Hg, h = altura sobre el nivel del mar (cm), R (cte de los gases) = 2,9 · 10⁶, T = temperatura (en K) (K = °C+273,2), g (gravedad en m · s⁻²).

4. Obtención a partir de las tablas psicrométricas de PV (presión de vapor de saturación en mm de Hg), para el aire de entrada al secadero, y según la temperatura ambiental (Tamb en °C) registrada por el higrómetro-termómetro ambiental

5. Obtención de “pv” (presión de vapor en mm de Hg en el momento del ensayo para el aire de entrada al secadero) utilizando el dato de la Humedad relativa ambiental (HRamb en %) y según la expresión:

$$\text{HRamb} = \frac{p_v}{P_v} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 21})$$

6. Obtención de la humedad en base húmeda (H'ge) del aire de entrada al secadero mediante la expresión:

$$H'ge = 0,623 \cdot \frac{p_v}{p - p_v} \quad (\text{Ec. 22})$$

7. Obtención de la humedad en base seca (Hge) del aire de entrada al secadero mediante la expresión:

$$\boxed{Hge = H'ge \cdot \left(\frac{1}{1 - H'ge} \right)} \quad (\text{Ec. 23})$$

(Dato introducido en el balance de materia y energía).

8. Obtención de “pv” (presión de vapor en mm de Hg en el momento del ensayo para el aire de salida del secadero) mediante las tablas psicrométricas y utilizando como dato

la temperatura de rocío (Pr en °C) registrada por la sonda combinada instalada en el secadero.

9. Obtención de PV (presión de vapor de saturación en mm de Hg del aire de salida del secadero) utilizando como dato la Humedad Relativa (HRgs en %) registrada por la sonda instalada en la salida del secadero y según la siguiente expresión:

$$HR_{gs} = \frac{P_v}{P_V} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 24})$$

10. Obtención de la humedad en base húmeda (H'gs) del aire de salida del secadero mediante la expresión:

$$H'_{gs} = 0,623 \cdot \frac{P_v}{P - P_v} \quad (\text{Ec. 25})$$

11. Obtención de la humedad en base seca (Hge) del aire de salida del secadero mediante la expresión:

$$H_{gs} = H'_{gs} \cdot \left(\frac{1}{1 - H'_{gs}} \right) \quad (\text{Ec. 26})$$

(Dato introducido en el balance de materia y energía).

Balance de materia: balance de agua (HOJA B en Anexo II):

Entra:

- Humedad en el aire (flujo secante) utilizado para el secado: $G \cdot H_{ge}$
- Humedad del sólido a secar: $Sh_e \cdot H's_e$
- Vapor de agua generado en combustión de gasóleo (en su caso).

Sale:

- Humedad en el aire (flujo secante)+ Humedad del sólido evaporada: $G \cdot H_{gs}$
- Humedad residual del sólido: $Sh_s \cdot H's_s$
- Vapor de agua generado en combustión de gasóleo (en su caso).

El balance de agua será:

$$G \cdot H_{ge} + Sh_e \cdot H's_e = G \cdot H_{gs} + Sh_s \cdot H's_s \quad (\text{Ec. 27})$$

Balance de energía (HOJA B en Anexo II):

Entra:

- Energía contenida en el aire o en general en el gas secante (debida a su temperatura): $G \cdot C_{p_g} \cdot T_{g_e}$
- Energía contenida en el “agua” del gas secante (debida a su humedad y a su temperatura): $G \cdot H_{g_e} \cdot (C_{p_v} \cdot T_{g_e} + \lambda_e)$
- Energía contenida en el sólido (debida a su temperatura): $Sh_e \cdot C_{p_s} \cdot T_{s_e}$
- Energía contenida en el agua del sólido (debida a su humedad y a su temperatura):

$$Sh_e \cdot H'_{s_e} \cdot C_{p_v} \cdot T_{s_e}$$

- Aporte energético del elemento calefactor utilizado para el secado (A).

Sale:

- Energía contenida en el flujo secante (debida a su temperatura): $G \cdot C_{p_g} \cdot T_{g_s}$
- Energía contenida en el agua del flujo secante (debida a su humedad y su temperatura): $[G \cdot H_{g_e} + Sh_s \cdot (H'_{s_e} - H'_{s_s})] \cdot [C_{p_v} \cdot T_{g_s} + \lambda_s]$
- Energía contenida en el sólido (debida a su temperatura): $Sh_s \cdot C_{p_s} \cdot T_{s_s}$
- Energía contenida en el agua del sólido (debida a su humedad y su temperatura):

$$Sh_s \cdot H'_{s_s} \cdot C_{p_v} \cdot T_{s_s}$$

- Pérdidas (P).

De tal forma que el balance de energía quedará como sigue:

$G \cdot C_{p_g} \cdot T_{g_e} + G \cdot H_{g_e} \cdot (C_{p_v} \cdot T_{g_e} + \lambda_e) + Sh_e \cdot C_{p_s} \cdot T_{s_e} + Sh_e \cdot H'_{s_e} \cdot C_{p_v} \cdot T_{s_e} + \mathbf{A} =$ $G \cdot C_{p_g} \cdot T_{g_s} + [G \cdot H_{g_e} + Sh_s \cdot (H'_{s_e} - H'_{s_s})] \cdot [C_{p_v} \cdot T_{g_s} + \lambda_s] + Sh_s \cdot C_{p_s} \cdot T_{s_s} +$ $Sh_s \cdot H'_{s_s} \cdot C_{p_v} \cdot T_{s_s} + \mathbf{P}$
--

(Ec. 28)

siendo:

G = g de aire seco, Sh = g de sólido húmedo, H = Humedad en base seca, (g de agua \cdot g⁻¹ de aire ó sólido seco), H' = Humedad en base húmeda, (g de agua \cdot g⁻¹ de aire ó sólido húmedo), T = Temperatura (°C), C_p = Calor específico (cal \cdot g⁻¹ \cdot °C⁻¹), λ = Calor latente de vaporización (cal \cdot g⁻¹).

Subíndices:

g_e = aire secante a la entrada, g_s = aire secante a la salida, s_e = sólido a la entrada, s_s = sólido a la salida, v = referido al vapor de agua, g = referido al gas secante (aire), s = condiciones de salida, e = condiciones de entrada.

Expresiones utilizadas:

$$C_{p_g} = 0,236 + 3,66 \cdot 10^{-5} \cdot T \text{ (cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}) \quad \text{(Ec. 29)}$$

$$C_{p_v} = 0,449 + 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot T \text{ (cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}) \quad \text{(Ec. 30)}$$

$$\lambda = 606,5 - 0,695 \cdot T \text{ (cal} \cdot \text{g}^{-1}) \quad \text{(Ec. 31)}$$

$$C_{p_s} = 0,324 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \quad \text{(Ec. 32)}$$

h	818 m
Latitud	42,58 norte

HOJA A

g =	cm/s ²
Tamb =	°C
p = p2 =	mmHg

(f) Altitud y Latitud

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada		Salida	
HR(amb)ge =	%	HRgs =	%
T(amb)se =	°C	Tgs =	°C
PV=	mmHg <i>tabla psicrométrica</i>	PV=	mmHg
pv=	mmHg	Pr=	°C
H'ge=	g vapor agua/g aire humedo	pv=	mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
Hge=	g vapor agua/g aire seco	H'gs=	g vapor agua/g aire humedo
Ha=	g vapor agua/m ³ aire	Hgs=	g vapor agua/g aire seco
		Ha=	g vapor agua/m ³ aire

Figura 16.- HOJA A: Tabla para la obtención de la humedad del aire de entrada y salida del secadero.

HOJA B

Tiempo (h)
 Sección (m²)
 Densidad aire(kg/m³)
 Pr atmosférica mmHg

Clave
 Fecha
 Inicio
 Fin

		ENTRA		Unidad			SALE		Unidad	
AIRE	Materia	V		m/s		Materia	V		m/s	
		G		g air seco			G		g air seco	
	Humedad	Hge		g ag/g air seco		Humedad	Hgs		g ag/g air seco	
	Temperatura	Tge		°C		Temperatura	Tgs		°C	
	Parámetros	Cpg(Tge)			cal/g air seco·°C		Parámetros	Cpg(Tgs)		cal/g air seco·°C
		Cpv(Tge)			cal/g ag·°C			Cpv(Tgs)		cal/g ag·°C
		Le(Tge)			cal/g ag			Ls(Tgs)		cal/g ag

SOLIDO	Materia	Sh		g sol humedo		Materia	Sh		g sol humedo	
		Ss		g sol seco			Ss		g sol seco	
	Humedad	H'se		g ag/g sol humedo		Humedad	H'ss		g ag/g sol humedo	
	Temperatura	Tse		°C		Temperatura	Tss		°C	
	Parámetros	Cps(Tse)			cal/g sol seco·°C		Parámetros	Cps(Tss)		cal/g sol seco·°C
		Cpv(Tse)			cal/g ag·°C(20/50)			Cpv(Tss)		cal/g ag·°C

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco	
Sale (S):	cal	"	
Aporte (A):	kwh	"	$A=S-E+U=R+U$
Utilizadas (U):		"	$U=E+A-S$
Reutilizables (R):		"	$R=S-E$

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
Sale (S):	g agua
Perdidas (P):	g agua

Figura 17.- HOJA B: Balance de Materia y Energía Tipo.

Los resultados obtenidos en el proceso de secado forzado se presentan como sigue:

I.- Resultados de los balances de materia:

Se muestran los resultados de los balances de agua que se elaboraron para cada uno de los ensayos de secado.

II.- Estudio del secado forzado: Efecto de los factores de variación:

Se presentan en una tabla los siguientes resultados obtenidos directamente en cada uno de los ensayos:

- a) H' (*b.h.*) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base húmeda.
- b) H (*b.s.*) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base seca.
- c) ${}^{\circ}H$ = Puntos de humedad reducidos en cada ensayo de secado forzado.
- d) Ph (kg) = Peso húmedo (inicial y final) del material introducido en cada ensayo correspondiente.
- e) Ps (kg) = Peso seco del material introducido en cada ensayo.
- f) Pa (kg) = Peso de agua rebajado en cada ensayo de secado forzado.

En el Anexo III, se presentan las curvas de secado en las que se muestra la variación de la humedad (H' y H) a lo largo del tiempo de secado para cada ensayo:

*Curva: “Variación de la humedad (H' en *b.h.* y H en *b.s.*) en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: H' y H en %; abscisas: t (min).*

Posteriormente y tomando como “respuesta” los puntos de humedad reducidos se estudió:

1.- Efecto de la humedad inicial (H) del material en la respuesta, independientemente de las condiciones de secado, siendo los grados de libertad:

Total = 26.

Experimento elemental (distinta humedad inicial) = 2.

Error = 24.

$n = n^{\circ}$ de experimentos elementales = 3.

$r = n^{\circ}$ de repeticiones = 9.

2.- Efecto de las combinaciones de cada uno de los factores de variación derivados de las condiciones de secado (V, T y t) y el factor de variación introducido por las condiciones de entrada del material (H), en la respuesta, siendo los grados de libertad:

Total = 26.

Experimento elemental (combinación V, H; T, H y t, H, en cada caso) = 8.

factor 1 = 2.

factor 2 = 2

interacción = 4.

Error = 18.

$n = n^{\circ}$ de experimentos elementales = 9.

$r = n^{\circ}$ de repeticiones = 3.

3.- Efecto de los factores de variación derivados de las condiciones de secado (V, T y t) sobre la respuesta, independientemente de la humedad inicial del material, siendo los grados de libertad:

Total = 26.

Bloques (un factor de secado) = 2

Tratamientos (combinación de dos factores de secado) = 8.

factor 1 = 2

factor 2 = 2

interacción = 4.

Error = 16.

$n = n^{\circ}$ de tratamientos = 9.

$r = n^{\circ}$ de bloques = 3.

C.- COSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO DEL MATERIAL ESTUDIADO.

En este apartado se estudió el consumo energético del secado de las muestras y después se comparó con la curva de poder calorífico del material estudiado y que ya se obtuvo en el apartado A (determinación del poder calorífico).

Los resultados se presentan de la siguiente forma:

I.- Resultados de los balances de energía:

Se muestran los resultados de los balances de energía que se elaboraron posteriormente a los ensayos de secado.

II.- Estudio energético del secado forzado:

Se reflejan los resultados energéticos obtenidos directamente de los ensayos:

- a) $PCS(H)$ ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) = Poder Calorífico Superior (inicial y final) del material introducido en el secadero.
- b) Incremento en el Poder calorífico ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) con el secado.
- c) Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en el secado.

Se compara la energía necesaria para el secado con el incremento que se produce en el poder calorífico del material debido a su reducción de humedad, es decir:

– Ratio incremento/aporte de energía.

Los ensayos que se llaman "satisfactorios" serán aquellos en que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad, es decir el ratio incremento/aporte de energía ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ incrementadas/ $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ aportadas) es mayor de 1.

En otra tabla se presenta para cada ensayo:

$Wh/^{\circ}H \cdot Ps = Wh$ por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida en el secadero.

Para poder comparar el consumo energético en cada ensayo de secado con el incremento en el Poder Calorífico del material ensayado se presenta para cada ensayo las siguientes curvas :

Curva: "Aporte energético en el secado e Incremento del poder calorífico del material ($PCS(H)$) debido al descenso de humedad". Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ relativas; abscisas: H' en %

Aparte se elaboraron una serie de curvas que se describen a continuación y se presentan en el Anexo IV:

- a) Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función del tiempo de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: t (min).*
- b) Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función de la humedad reducida en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' en %.*
- c) Curva: “Poder calorífico del material ($\text{PCS}(H')$ en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) y energía aportada para su secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' en %*

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Características eléctricas del variador de velocidad (ATV-18U18M2):.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 2.- Parámetros medidos en la modalidad de Vatímetro con el Analizador de redes.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 3.- Características de las pinzas amperimétricas C 148 utilizadas con el Analizador de redes.</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 4.- Características de la balanza de precisión AG 204.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 5.- Características de la balanza PB 3002.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 6.- Superficie cultivada según provincias (% de la superficie total de CyL), producciones máximas y rendimientos para el cultivo de cebada.</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 7.- Productividad de biomasa de cardo en diversas localidades europeas y españolas.</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 8.- Resultado de la Estandarización: Valor de EE.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 9.- Protocolo de Reestandarización.</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 10.- Diseño Factorial 2³ : para el estudio del efecto del peso de la muestra, del contenido de azufre y de nitrógeno sobre la determinación de poderes caloríficos. ...</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 11.- Diseño factorial 2³: Resultados de ensayos realizados con el calorímetro.</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 12.- Tabla de los coeficientes de contrastes.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 13.- Presentación final de los resultados del diseño factorial.</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 14.- Análisis de Varianza: Experimento elemental = combinación de factores</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 15.- Parámetros medidos a la entrada y la salida del secadero.</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 16.- Parámetros registrados con las sondas instaladas en el secadero.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 17.- Parámetros medidos con el higrómetro-termómetro ambiental.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 18.- Niveles de los factores asociados a las condiciones de secado en el secadero en cada uno de los ensayos.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 19.- Velocidad del aire de entrada al secadero medida en el tubo y en la base de las bandejas.</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 20.- Intervalo de toma de datos.</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 21.- Parámetros registrados con el Analizador.</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 22.- Parámetros registrados con el SAD.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 23.- Parámetros registrados con las células de carga.....</i>	<i>157</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.- Calorímetro isoperibólico utilizado para la determinación del poder calorífico.</i>	107
<i>Figura 2.- Molino analítico y Pelletizadora para la formación de las pastillas.</i>	107
<i>Figura 3.- Estufa utilizada para la determinación de la humedad de las muestras.</i>	108
<i>Figura 4.- Resistencias eléctricas instaladas en el secadero.</i>	110
<i>Figura 5.- Esquema de conexión del termostato instalado en el secadero.</i>	110
<i>Figura 6.- Cuadro eléctrico instalado en la zona posterior del secadero.</i>	111
<i>Figura 7.- Esquema eléctrico del circuito de potencia del secadero.</i>	113
<i>Figura 8.- Esquema eléctrico del circuito de mando del secadero.</i>	114
<i>Figura 9.- Vista general del motor y del Variador de velocidad instalado en el secadero.</i>	116
<i>Figura 10.- Esquema eléctrico del variador de velocidad (ATV-18U18M2) en alimentación monofásica.</i>	116
<i>Figura 11.- Esquema de conexión del Analizador de redes.</i>	119
<i>Figura 12.- Analizador de redes utilizado para los ensayos.</i>	120
<i>Figura 13.- SAD instalado, para la adquisición de datos.</i>	122
<i>Figura 14.- Sondas utilizadas en los ensayos para la medición de los diferentes parámetros.</i>	123
<i>Figura 15.- Células de carga para medir la variación de peso durante el secado.</i>	124
<i>Figura 16.- HOJA A: Tabla para la obtención de la humedad del aire de entrada y salida del secadero.</i>	163
<i>Figura 17.- HOJA B: Balance de Materia y Energía Tipo.</i>	164

INDICE DE ECUACIONES

(Ec. 1).- Poder calorífico superior en base húmeda obtenido por determinación en calorímetro	131
(Ec. 2).- Energía equivalente del calorímetro isoperibólico PARR 1261	133
(Ec. 3).- Poder calorífico superior en base húmeda para el patrón (pastilla de benzoico)...	135
(Ec. 4).- Valor real del poder calorífico superior (base húmeda) como medida de tres determinaciones teniendo en cuenta la incertidumbre del calorímetro	135
(Ec. 5).- Valor convencionalmente verdadero del patrón en la verificación	136
(Ec. 6).- Corrección de azufre para un contenido de 0,05% de azufre en la muestra	138
(Ec. 7).- Cantidad de ácido nítrico que se forma en la combustión para un contenido de 0,5% de nitrógeno en la muestra	138
(Ec. 8).- Volumen de álcali para neutralizar el ácido nítrico formado en la combustión	139
(Ec. 9).- Corrección de "ácido" para un contenido de 0,5% de nitrógeno en la muestra.....	139
(Ec. 10).- Poder calorífico superior en base húmeda obtenido por determinación en calorímetro	147
(Ec. 11).- Relación entre la humedad en base húmeda y la humedad en base seca.....	147
(Ec. 12).- Poder calorífico superior anhidro	147
(Ec. 13).- Poder calorífico superior en base seca	148
(Ec. 14).- Poder calorífico inferior en base húmeda	148
(Ec. 15).- Poder calorífico inferior en base seca	148
(Ec. 16).- Poder calorífico inferior anhidro	148
(Ec. 17).- Peso seco del material introducido en el secadero	150
(Ec. 18).- humedad del sólido (base húmeda) en la entrada del secadero.....	150
(Ec. 19).- Expresión de la gravedad en función de la altitud y de la latitud de la zona	158
(Ec. 20).- Ecuación fundamental de la atmósfera	158
(Ec. 21).- Humedad relativa ambiental	158
(Ec. 22).- humedad (base húmeda) del aire de secado a la entrada del secadero.....	158
(Ec. 23).- Humedad (base seca) del aire de secado a la entrada del secadero.....	158
(Ec. 24).- Humedad relativa del aire de secado a la entrada del secadero	159
(Ec. 25).- Humedad (base húmeda) del aire de secado a la salida del secadero.....	159
(Ec. 26).- Humedad (base seca) del aire de secado a la salida del secadero	159
(Ec. 27).- Balance de materia: balance de agua	159
(Ec. 28).- Balance de energía	160
(Ec. 29).- Calor específico del aire seco	161
(Ec. 30).- Calor específico del vapor de agua	161
(Ec. 31).- Calor latente de vaporización	161
(Ec. 32).- Calor específico del sólido	161

5.- Resultados y Discusión

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1.- RESTOS DE MAÍZ.

5.1.1- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.

Los restos de maíz se componen de hojas, tallos y zuros. En un primer momento se analizaron por separado para estudiar si los resultados diferían entre sí significativamente. Se realizaron a la vez los ensayos de determinación de la humedad en estufa y de determinación del PCS(H') en el calorímetro. Los resultados de humedad son los que se reflejan a continuación:

Tabla 1.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de las hojas de los restos de maiz.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	10,66	11,93
B	9,77	10,83
C	9,30	10,26
Media	9,91	11,00
Desv.Típ.	0,69	0,85
CV%	6,94	7,71

Tabla 2.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de los tallos de los restos de maiz.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	7,73	8,38
B	7,36	7,95
C	7,96	8,64
Media	7,68	8,32
Desv.Típ.	0,30	0,35
CV%	3,92	4,24

Tabla 3.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de los zuros de los restos de maíz.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	7,48	8,08
B	7,70	8,35
C	7,49	8,10
Media	7,56	8,18
Desv. Típ.	0,13	0,15
CV%	1,69	1,83

En la determinación del PCS(H'), no importa el peso de la muestra introducida, sobre todo si se calculan las correcciones de azufre y de nitrógeno para dichas masas introducidas.

Para un gramo de muestra las calorías a introducir como corrección serán: N(0,5%) = 5,0357 cal · g⁻¹ y S(0,05%) = 1,1260 cal · g⁻¹, para las diferentes cantidades de muestra, las correcciones fueron:

Tabla 4.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de hojas de restos de maíz.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,1816	0,9145	0,2045
2	0,2105	1,0600	0,2370
3	0,2066	1,0404	0,2326

Correcciones: N= 0,5% cal · g⁻¹=5,0357
S= 0,05% cal · g⁻¹=1,126

Tabla 5.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de tallos de restos de maíz.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,1336	0,6728	0,1504
2	0,1407	0,7085	0,1584
3	0,1615	0,8133	0,1818

Correcciones: N= 0,5% cal · g⁻¹=5,0357
S= 0,05% cal · g⁻¹=1,126

Tabla 6.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de zuros de restos de maíz.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,3672	1,8491	0,4135
2	0,2790	1,4050	0,3142
3	0,4122	2,0757	0,4641

Correcciones: N= 0,5% cal · g⁻¹ =5,0357
 S= 0,05% cal · g⁻¹ =1,126

En los ensayos para la determinación del poder calorífico de las distintas partes, de los restos de la planta de maíz, los resultados obtenidos fueron:

Tabla 7.- Poder Calorífico de las hojas de los restos de maíz.

Muestra	PCS(H'=9,91%) cal · g ⁻¹	PCS(0) cal · g ⁻¹	PCS(H=11,00%) cal · g ⁻¹
1	3741,60	4153,15	3741,45
2	3751,33	4163,95	3751,18
3	3796,65	4214,26	3796,50
Media	3763,19	4177,12	3763,05
s	23,99	26,63	23,99
CV%	0,64	0,64	0,64

Muestra	PCI(H'=9,91%) cal · g ⁻¹	PCI(0) cal · g ⁻¹	PCI(H=11,00%) cal · g ⁻¹
1	3400,69	3838,77	3400,53
2	3410,42	3849,58	3410,26
3	3455,74	3899,88	3455,58
Media	3422,28	3862,74	3422,12
s	23,99	26,63	23,99
CV%	0,70	0,69	0,70

Tabla 8.- Poder Calorífico de los tallos de los restos de maíz

Muestra	PCS(H'=7,68%) cal · g ⁻¹	PCS(0) cal · g ⁻¹	PCS(H=8,32%) cal · g ⁻¹
1	4089,12	4429,42	4089,09
2	4106,28	4448,01	4106,25
3	4087,82	4428,01	4087,79
Media	4094,41	4435,15	4094,38
s	8,41	9,11	8,41
CV%	0,21	0,21	0,21

Muestra	PCI(H'=7,68%) cal · g ⁻¹	PCI(0) cal · g ⁻¹	PCI(H=8,32%) cal · g ⁻¹
1	3754,17	4115,04	3754,14
2	3771,33	4133,63	3771,30
3	3752,87	4113,63	3752,84
Media	3759,46	4120,77	3759,42
s	8,41	9,11	8,41
CV%	0,22	0,22	0,22

Tabla 9.- Poder Calorífico de los zuros de los restos de maíz

Muestra	PCS(H'=7,56%) cal · g ⁻¹	PCS(0) cal · g ⁻¹	PCS(H=8,18%) cal · g ⁻¹
1	4079,66	4413,17	4079,65
2	4061,20	4393,20	4061,19
3	4090,43	4424,82	4090,42
Media	4077,10	4410,40	4077,09
s	12,07	13,06	12,07
CV%	0,30	0,30	0,30

Muestra	PCI(H'=7,56%) cal · g ⁻¹	PCI(0) cal · g ⁻¹	PCI(H=8,18%) cal · g ⁻¹
1	3745,04	4098,80	3745,04
2	3726,58	4078,83	3726,58
3	3755,81	4110,45	3755,81
Media	3742,48	4096,02	3742,48
s	12,07	13,06	12,07
CV%	0,32	0,32	0,32

Con estos datos se realizó un Análisis de Varianza para comprobar si existían diferencias significativas entre los poderes caloríficos de las distintas partes que componen los restos de maíz o si por el contrario las diferencias entre las medias eran iguales a las diferencias esperables debidas al llamado “error experimental”.

Tabla 11.- Composición tipo de los restos de la planta de maíz.

Fracción	% del total	Masa de cada fracción (g)
Hojas	41,55	20,78
Tallos	34,99	17,50
Zuros	23,46	11,73
Total	100	50

(Llanos Company, 1984).

Tabla 12.- Composición real de la mezcla picada de restos de maíz preparada para la realización de las pastillas.

Fracción	% del total	Masa de cada fracción (g)
Hojas	42,46	21,20
Tallos	34,70	17,32
Zuros	22,84	11,40
Total	100	49,92

Los resultados de humedad y poder calorífico obtenidos al realizar la desecación en la estufa y la combustión en el calorímetro se presentan a continuación:

Tabla 13.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de los restos de maíz picados.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	7,29	7,87
B	7,07	7,60
C	7,74	8,39
Media	7,37	7,95
Desv. Típ.	0,34	0,40
CV%	4,68	5,05

Tabla 14.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de los restos de maíz picados.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,3445	1,7348	0,3879
2	0,2988	1,5047	0,3364
3	0,2411	1,2141	0,2715

Correcciones: N= 0,5% cal · g⁻¹=5,0357

S= 0,05% cal · g⁻¹=1,126

Tabla 15.- Poder Calorífico de los restos de maíz picados, obtenidos por determinación en calorímetro.

Muestra	PCS(H'=7,37%) cal · g ⁻¹	PCS(0) cal · g ⁻¹	PCS(H=7,95%) cal · g ⁻¹
1	3977,62	4293,92	3977,58
2	3991,68	4309,10	3991,64
3	3963,73	4278,93	3963,69
Media	3977,68	4293,98	3977,64
s	11,41	12,32	11,41
CV%	0,29	0,29	0,29

Muestra	PCI(H'=7,37%) cal · g ⁻¹	PCI(0) cal · g ⁻¹	PCI(H=7,95%) cal · g ⁻¹
1	3643,52	3979,54	3643,48
2	3657,58	3994,72	3657,54
3	3629,63	3964,55	3629,59
Media	3643,57	3979,61	3643,53
s	11,41	12,32	11,41
CV%	0,31	0,31	0,31

A continuación se presentan las curvas de Poder Calorífico Superior e Inferior en cal · g⁻¹ de los residuos de maíz determinado en el calorímetro y en función de su contenido de humedad.

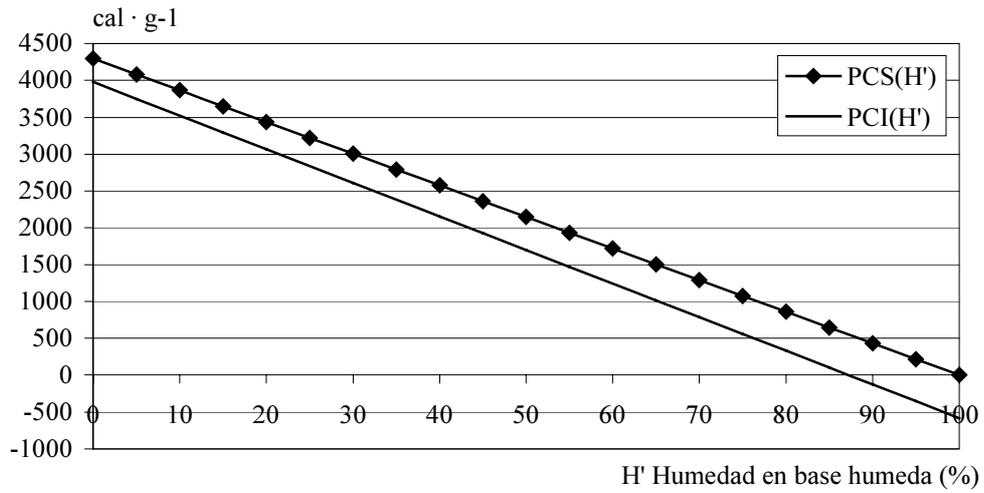


Figura 1.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para los restos de maíz determinado en el calorímetro.

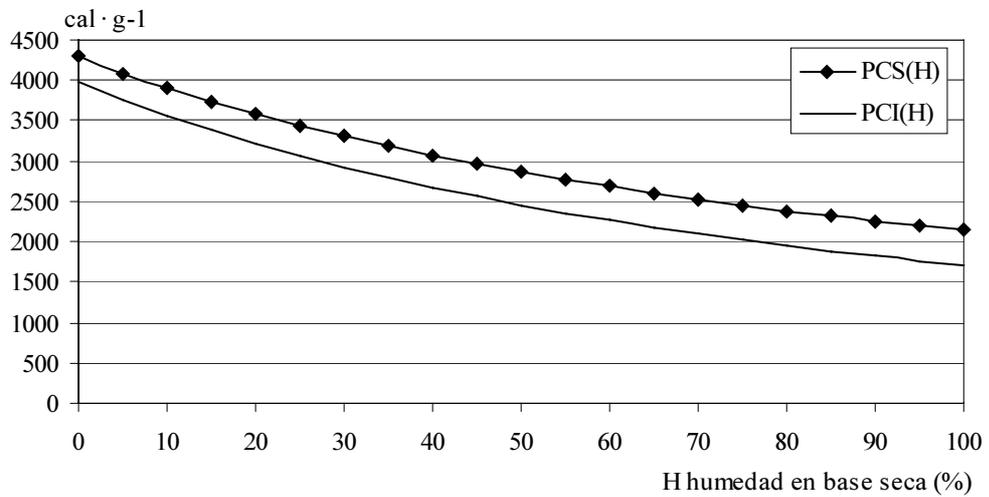


Figura 2.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para los restos de maíz determinado en calorímetro.

NOTA: Tabla de valores de las curvas presentadas anteriormente

Tabla 16.- Poder Calorífico Superior e Inferior de los restos de maíz determinado en calorímetro y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).

<i>H' y/o H</i> %	<i>PCS(H')</i> <i>cal · g⁻¹</i>	<i>PCI(H')</i> <i>cal · g⁻¹</i>	<i>PCS(H)</i> <i>cal · g⁻¹</i>	<i>PCI(H)</i> <i>cal · g⁻¹</i>
0	4293,98	3979,27	4293,98	3979,27
5	4079,28	3751,17	4089,51	3762,03
10	3864,58	3523,06	3903,62	3564,54
15	3649,89	3294,96	3733,90	3384,22
20	3435,19	3066,86	3578,32	3218,93
25	3220,49	2838,75	3435,19	3066,86
30	3005,79	2610,65	3303,06	2926,49
35	2791,09	2382,55	3180,73	2796,51
40	2576,39	2154,44	3067,13	2675,82
45	2361,69	1926,34	2961,37	2563,46
50	2146,99	1698,24	2862,66	2458,58
55	1932,29	1470,13	2770,31	2360,47
60	1717,59	1242,03	2683,74	2268,49
65	1502,89	1013,92	2602,41	2182,09
70	1288,19	785,82	2525,87	2100,77
75	1073,50	557,72	2453,70	2024,10
80	858,80	329,61	2385,55	1951,68
85	644,10	101,51	2321,07	1883,18
90	429,40	-126,59	2259,99	1818,29
95	214,70	-354,70	2202,04	1756,72
100	0,00	-582,80	2146,99	1698,24

Las ecuaciones que proporcionan el poder calorífico superior (PCS(H')) e inferior (PCI(H')) en función del contenido de humedad en base húmeda para los restos de maíz utilizados en los ensayos son:

Tabla 17.- Ecuaciones del poder calorífico (superior e inferior) de los restos de maíz, obtenido por determinación en calorímetro.

Ecuaciones de poder calorífico	PCS (H') cal · g⁻¹	PCI (H') cal · g⁻¹
Hojas	4177,12 – 41,77 · H'	3862,74 – 44,45 · H'
Tallos	4435,15 – 44,35 · H'	4120,77 – 47,03 · H'
Zuros	4410,40 – 44,10 · H'	4096,02 – 46,78 · H'
Restos picados	4293,98 – 42,94 · H'	3979,61 – 45,62 · H'

H' (%) = humedad en base húmeda.

Si no se determina en calorímetro el poder calorífico sino que se calcula en función de las distintas fracciones que los componen se tiene:

Tabla 18.- Poder Calorífico de los restos de maíz obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de las fracciones.

Fracción	%	PCS(0) cal · g⁻¹ de cada fracción	PCS(0) cal · g⁻¹ referido a la biomasa total	PCI(0) cal · g⁻¹ de cada fracción	PCI(0) cal · g⁻¹ referido a la biomasa total
Hojas	41,55	4177,12	1735,59	3862,74	1604,97
Tallos	34,99	4435,15	1551,86	4120,77	1441,86
Zuros	23,46	4410,4	1034,68	4096,02	960,926
Total	100	-	4322,13	-	4007,75

A continuación se presentan las curvas de Poder Calorífico Superior e Inferior en cal · g⁻¹ de la planta de los restos de maíz calculado en función de los poderes caloríficos de sus fracciones y para distintos contenidos de humedad:

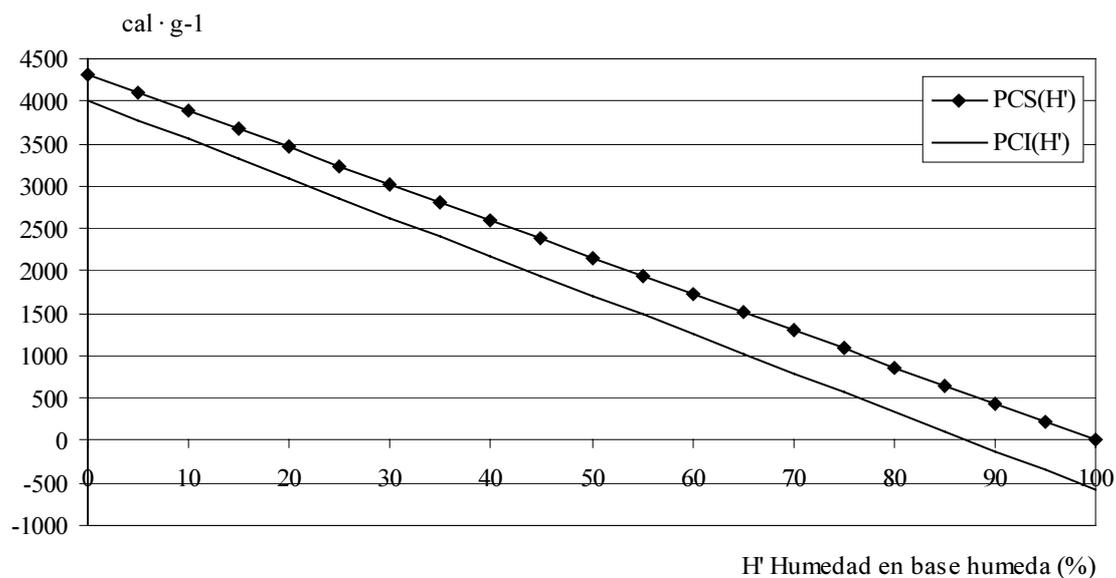


Figura 3.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para los restos de maíz en función del poder calorífico de sus fracciones.

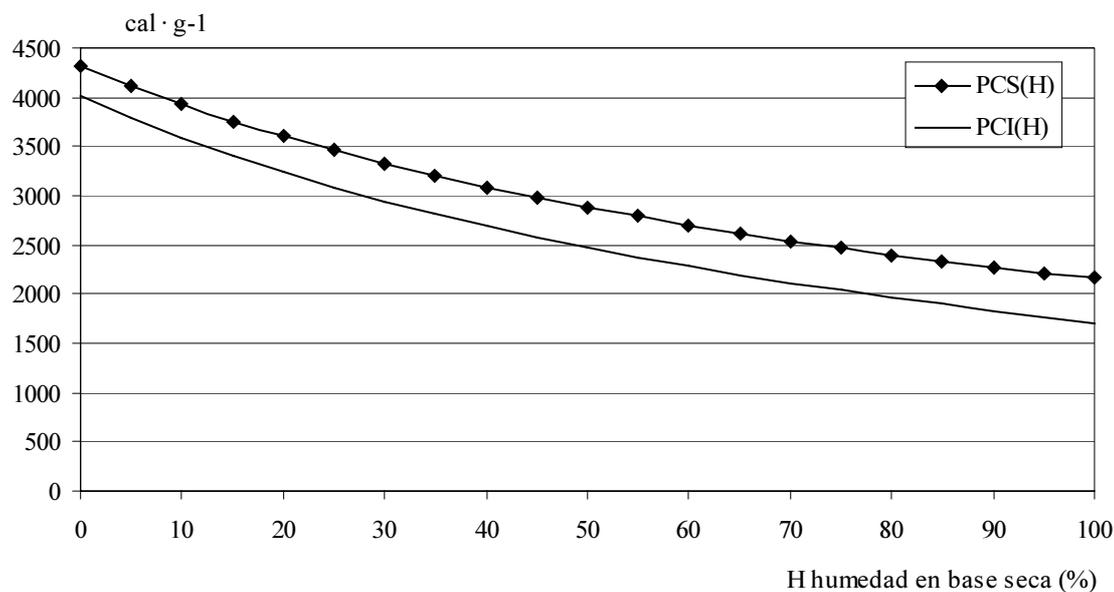


Figura 4.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para los restos de maíz en función del poder calorífico de sus fracciones.

NOTA: Tabla de valores de las curvas presentadas anteriormente

Tabla 19.- Poder Calorífico Superior e Inferior de los restos de maíz calculado en función de los poderes caloríficos de las fracciones que los componen y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).

<i>H'/H</i>	<i>PCS(H')</i>	<i>PCI(H')</i>	<i>PCS(H)</i>	<i>PCI(H)</i>
0	4322,13	4007,42	4322,13	4007,42
5	4106,02	3777,91	4116,31	3788,84
10	3889,92	3548,40	3929,21	3590,13
15	3673,81	3318,89	3758,37	3408,69
20	3457,70	3089,37	3601,78	3242,38
25	3241,60	2859,86	3457,70	3089,37
30	3025,49	2630,35	3324,72	2948,14
35	2809,38	2400,84	3201,58	2817,36
40	2593,28	2171,33	3087,24	2695,93
45	2377,17	1941,82	2980,78	2582,87
50	2161,07	1712,31	2881,42	2477,35
55	1944,96	1482,80	2788,47	2378,63
60	1728,85	1253,29	2701,33	2286,09
65	1512,75	1023,78	2619,47	2199,15
70	1296,64	794,27	2542,43	2117,33
75	1080,53	564,75	2469,79	2040,18
80	864,43	335,24	2401,18	1967,32
85	648,32	105,73	2336,29	1898,40
90	432,21	-123,78	2274,81	1833,10
95	216,11	-353,29	2216,48	1771,16
100	0,00	-582,80	2161,07	1712,31

La ecuación que proporciona el poder calorífico en función del contenido de humedad en base húmeda para la composición tipo es:

Tabla 20.- Ecuación del poder calorífico (superior e inferior) de los restos de maíz, obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de sus fracciones.

Ecuación de poder calorífico	PCS (H') cal · g⁻¹	PCI (H') cal · g⁻¹
Restos de maíz	4322,13 – 43,22 · H'	4007,75 – 45,90 · H'

H' (%) = humedad en base húmeda.

5.1.2.- SECADO FORZADO.

En los ensayos de secado forzado se consideraron como factores de variación:

Tabla 21.- Factores de variación debidos a diferentes condiciones de secado en el secadero (MAIZ).

Factores	Códigos	Valor	
		<i>en tubo</i>	<i>en bandejas</i>
Velocidad del aire de entrada (V) ($m \cdot s^{-1}$)	V1	15	0,85
	V2	10	0,60
	V3	6	0,35
Temperatura del aire de entrada (T) ($^{\circ}C$)	T1	50	
	T2	45	
	T3	40	
Tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	
	t2	0,50	
	t3	0,25	

Tabla 22.- Factor de variación debido a diferentes condiciones del material introducido en el secadero (MAIZ).

Factor	Código	Valor
Humedad inicial del material introducido en el secadero(H)	H1	$H' < 29 \%$
	H2	$29\% \leq H' \leq 34 \%$
	H3	$H' > 34 \%$

Tabla 23.- Condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (MAIZ).

Ensayos	n°	Condiciones reales del secadero de los ensayos				
		Fecha	V (m · s ⁻¹) en tubo	V (m · s ⁻¹) en bandejas	T (°C)	t (h)
V1T1t1	1	2-dic-99	16,62	0,92	50,63	0,75
V1T1t2	2	14-oct-99	15,34	0,85	50,50	0,50
V1T1t3	3	25-oct-99	14,45	0,80	49,84	0,25
V1T2t1	4	26-oct-99	16,11	0,89	45,77	0,75
V1T2t2	5	2-dic-99	16,84	0,94	45,89	0,50
V1T2t3	6	29-nov-99	15,50	0,86	45,58	0,25
V1T3t1	7	7-dic-99	15,49	0,86	40,61	0,75
V1T3t2	8	7-dic-99	15,17	0,84	40,26	0,50
V1T3t3	9	7-dic-99	15,48	0,86	40,51	0,25
V2T1t1	10	13-dic-99	10,50	0,58	50,10	0,75
V2T1t2	11	9-dic-99	10,38	0,58	50,72	0,50
V2T1t3	12	14-dic-99	10,40	0,58	50,26	0,25
V2T2t1	13	13-dic-99	10,18	0,57	45,41	0,75
V2T2t2	14	14-dic-99	10,34	0,57	44,79	0,50
V2T2t3	15	9-dic-99	10,26	0,57	46,78	0,25
V2T3t1	16	13-dic-99	10,51	0,58	40,31	0,75
V2T3t2	17	16-dic-99	10,35	0,57	40,44	0,50
V2T3t3	18	16-dic-99	10,59	0,59	41,78	0,25
V3T1t1	19	20-dic-99	6,65	0,37	50,90	0,75
V3T1t2	20	22-dic-99	6,54	0,36	49,96	0,50
V3T1t3	21	23-dic-99	6,50	0,36	50,84	0,25
V3T2t1	22	20-dic-99	6,49	0,36	44,69	0,75
V3T2t2	23	21-dic-99	6,79	0,38	45,45	0,50
V3T2t3	24	23-dic-99	6,55	0,36	45,10	0,25
V3T3t1	25	20-dic-99	6,62	0,37	41,16	0,75
V3T3t2	26	21-dic-99	6,34	0,35	39,87	0,50
V3T3t3	27	23-dic-99	6,68	0,37	39,72	0,25

Tabla 24.-Medias de las condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (MAIZ).

Velocidad real del aire de secado (m · s ⁻¹)				Media de la temperatura real del aire de secado (°C)		
Código	Media en el tubo	Media en bandejas	Desv.tip.	Código	Media	Desv.tip.
V1	15,67	0,87	0,74	T1	50,42	0,39
V2	10,39	0,58	0,13	T2	45,50	0,63
V3	6,57	0,37	0,13	T3	40,52	0,63

I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MATERIA.

Se presentan los resultados de los balances de agua que se elaboraron: g de agua a la entrada y a la salida del secadero (así como las pérdidas registradas) para cada ensayo.

Tabla 25.- Resultados de los Balances de materia (balances de agua) para cada uno de los ensayos (MAIZ).

Ensayos	n°	Balance de agua (g de agua)		
		ENTRADA	SALIDA	PÉRDIDAS
V1T1t1	1	5829,88	5951,63	-121,75
V1T1t2	2	4639,63	4670,35	-30,72
V1T1t3	3	2463,66	2180,87	282,79
V1T2t1	4	6992,95	6806,67	186,28
V1T2t2	5	3915,66	3947,50	-31,84
V1T2t3	6	2278,14	2171,36	106,78
V1T3t1	7	4518,02	4547,03	-29,01
V1T3t2	8	2702,56	2585,35	117,21
V1T3t3	9	1817,97	1709,56	108,41
V2T1t1	10	4424,07	4517,21	-93,14
V2T1t2	11	2473,00	2345,34	127,66
V2T1t3	12	2530,12	1981,56	548,56
V2T2t1	13	4043,12	3783,70	259,42
V2T2t2	14	3038,29	2884,23	154,06
V2T2t3	15	1556,06	1550,63	5,43
V2T3t1	16	3342,45	3316,21	26,24
V2T3t2	17	3230,14	2432,57	797,57
V2T3t3	18	1524,09	1343,13	180,96
V3T1t1	19	2172,51	2103,03	69,48
V3T1t2	20	1827,94	1630,66	197,28
V3T1t3	21	1695,05	1321,49	373,56
V3T2t1	22	2307,77	2086,98	220,79
V3T2t2	23	2173,82	1783,61	390,21
V3T2t3	24	1548,23	1238,26	309,97
V3T3t1	25	2585,39	2036,06	549,33
V3T3t2	26	1913,74	1611,20	302,54
V3T3t3	27	1414,34	1144,13	270,21

Tabla 26.- Resultados de los balances de agua para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).

Condiciones de secado			Balance de agua (g de agua)			P/E · 100 (%)
			ENTRADA (E)	SALIDA (S)	PERDIDAS (P)	
Velocidad del aire en la base de las bandejas (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	3906,50	3841,15	65,35	1,67
	V2	0,60	2906,82	2683,84	222,97	7,67
	V3	0,35	1959,87	1661,71	298,15	15,21
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	3117,32	2966,90	150,41	4,83
	T2	45	3094,89	2916,99	177,90	5,75
	T3	40	2560,97	2302,80	258,16	10,08
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	4024,02	3905,39	118,63	2,95
	t2	0,50	2879,42	2654,53	224,89	7,81
	t3	0,25	1869,74	1626,78	242,96	12,99

Como se puede observar en la Tabla anterior, la relación entre los g de agua perdidos y los g de agua que entran en el secadero es mayor para V3, T3 y t3, lo que sugiere que las pérdidas se hacen mayores cuando se trabaja con bajas velocidades de aire, bajas temperaturas y en cortos períodos de tiempo.

II.- ESTUDIO DEL SECADO FORZADO: EFECTO DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN.

Durante los ensayos de secado forzado se tomaron los siguientes datos:

Tabla 27- Resultados directos del secado forzado (MAIZ)¹.

Ensayo	n°	Humedad Inicial		Humedad Final		°H	Ph inicial (kg)	Ph final (kg)	Pa (kg) Peso de agua rebajado	Ps (kg)
		H'(b.h.) %	H(b.s.) %	H'(b.h.) %	H(b.s.) %					
V1T1t1	1	42,17	72,92	6,88	7,39	35,29	1,980	1,230	0,750	1,145
V1T1t2	2	25,15	33,60	9,67	10,71	15,48	3,082	2,554	0,528	2,307
V1T1t3	3	35,07	54,01	15,94	18,96	19,13	2,261	1,746	0,515	1,468
V1T2t1	4	29,63	42,11	7,70	8,34	21,93	2,788	2,126	0,662	1,962
V1T2t2	5	34,02	51,56	12,58	14,39	21,44	2,460	1,857	0,603	1,623
V1T2t3	6	31,70	46,41	11,62	13,15	20,08	2,161	1,670	0,491	1,476
V1T3t1	7	34,09	51,72	7,84	8,51	26,25	2,162	1,546	0,616	1,425
V1T3t2	8	25,95	35,04	8,24	8,98	17,71	2,185	1,763	0,422	1,618
V1T3t3	9	30,65	44,20	14,60	17,10	16,05	2,062	1,675	0,387	1,430
V2T1t1	10	34,72	53,19	12,93	14,85	21,79	3,275	2,455	0,820	2,138
V2T1t2	11	31,25	45,45	8,64	9,46	22,61	1,728	1,300	0,428	1,188
V2T1t3	12	40,66	68,52	18,72	23,03	21,94	3,387	2,473	0,914	2,010
V2T2t1	13	36,19	56,72	12,77	14,64	23,42	2,987	2,185	0,802	1,906
V2T2t2	14	34,24	52,07	15,03	17,69	19,21	2,853	2,208	0,645	1,876
V2T2t3	15	28,89	40,63	14,31	16,70	14,58	2,513	2,085	0,428	1,787
V2T3t1	16	23,66	30,99	10,07	11,20	13,59	2,912	2,472	0,440	2,223
V2T3t2	17	31,04	45,01	12,68	14,52	18,36	3,012	2,379	0,633	2,077
V2T3t3	18	24,39	32,26	12,89	14,80	11,50	2,308	2,003	0,305	1,745
V3T1t1	19	23,52	30,75	6,57	7,03	16,95	2,713	2,221	0,492	2,075
V3T1t2	20	25,37	33,99	10,17	11,32	15,20	2,976	2,473	0,503	2,221
V3T1t3	21	33,55	50,49	16,87	20,29	16,68	3,064	2,449	0,615	2,036
V3T2t1	22	22,07	28,32	7,23	7,79	14,84	2,560	2,150	0,410	1,995
V3T2t2	23	32,68	48,54	10,95	12,30	21,73	2,953	2,232	0,721	1,988
V3T2t3	24	29,06	40,96	15,92	18,93	13,14	3,193	2,694	0,499	2,265
V3T3t1	25	30,72	44,34	9,39	10,36	21,33	2,865	2,191	0,674	1,985
V3T3t2	26	29,40	41,64	14,39	16,81	15,01	3,105	2,560	0,545	2,192
V3T3t3	27	29,37	41,58	17,83	21,70	11,54	2,959	2,543	0,416	2,090

a.- Efecto de H sobre el descenso de humedad:

¹ H' (b.h.) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base húmeda.
H (b.s.) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base seca.
°H = Puntos de humedad reducidos en cada ensayo de secado forzado.
Ph (kg) = Peso húmedo (inicial y final) del material introducido en cada ensayo correspondiente.
Pa (kg) = Peso de agua rebajado en cada ensayo de secado forzado.
Ps (kg) = Peso seco del material introducido en cada ensayo.

Se estudió aquí el efecto de la humedad inicial de entrada del material introducido en el secadero (H) sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos) independientemente de las condiciones de secado del secadero:

Tabla 28.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la humedad inicial del material introducido (MAIZ).

Exp. Elem. n = 3	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%)									Total	Media
	r=9										
H1	15,48	17,73	14,60	13,59	11,51	16,95	15,18	14,86	13,14	133,04	14,78
H2	21,92	20,08	16,02	22,63	19,20	18,35	15,02	11,56	26,26	171,04	19,00
H3	35,26	19,15	21,42	21,81	21,94	23,42	16,69	21,75	19,50	200,94	22,33
										505,02	18,70
										Tg	Mg

Tabla 29- Análisis de Varianza: Experimento Elemental (H) (MAIZ).

$$C = 9446,12$$

Fuente variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)
					5% 1%
Total	26	662,25			
Exp.Elem (H)	2	257,35	128,67	7,63**	3,49 5,95
Error	24	404,90	16,87		

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existe una diferencia altamente significativa ($p < 1\%$) entre las medias de los experimentos elementales lo que hace pensar que existe un efecto real de la humedad inicial del material sobre la respuesta: los puntos de humedad reducidos en cada ensayo.

b.- Efecto de las combinaciones (V,H); (T,H) y (t,H) sobre el descenso de humedad:

Se estudió aquí el efecto de la combinación de la humedad inicial del material introducido (H) con cada uno de los tres factores de variación derivados de las distintas condiciones de secado del secadero: velocidad (V) y temperatura (T) del aire de entrada y tiempo de residencia (t), sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos):

Tabla 30- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Velocidad del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (MAIZ).

Exp. Elemental n = 9	Respuesta: Puntos de humedad reducidos (%) r =3			Total Exp. Elem.	Media Exp.Elem.
V1H1	15,48	17,73	21,92	55,13	18,38
V1H2	20,08	16,02	21,42	57,52	19,17
V1H3	35,26	19,15	26,26	80,67	26,89
V2H1	14,60	13,59	11,51	39,70	13,23
V2H2	22,63	18,35	19,20	60,18	20,06
V2H3	21,81	21,94	23,42	67,17	22,39
V3H1	16,95	15,18	14,86	46,99	15,66
V3H2	13,14	15,02	11,56	39,72	13,24
V3H3	16,69	21,75	19,50	57,94	19,31
				505,02	18,70
				Total general Media general	

Tabla 31- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (V,H) (MAIZ).

Análisis de varianza		C = 9446,12				
Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	662,25				
Exp.Elemental (V,H)	8	456,49	57,06	4,99**	2,51	3,71
Error	18	205,76	11,43			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Exp.Elemental	8	456,49	57,06	4,99**		
V	2	131,88	65,94	5,77*	3,55	6,01
H	2	247,15	123,57	10,81**	3,55	6,01
VxH	4	77,47	19,37	1,69ns	2,93	4,58
Error	18	205,76	11,43			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existe una diferencia altamente significativa (probabilidad < 1%) entre las medias de los experimentos elementales, lo que hace pensar que hay un efecto real de éstos sobre la respuesta.

En la separación de medias se observan diferencias significativas (pr. < 5%) debidas al efecto que produce las diferentes velocidades de entrada del aire al secadero y diferencias altamente significativas (pr. < 1%) debidas al efecto que produce las distintas humedades iniciales del material ensayado.

Sin embargo, el efecto de una posible interacción entre estos dos factores resulta no significativa.

Tabla 32- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Temperatura del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (MAIZ).

Exp. Elemental n = 9	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%) r =3			Total Exp. Elem.	Media Exp.Elem.
T1H1	15,48	16,95	15,18	47,61	15,87
T1H2	22,63	21,81	16,69	61,13	20,38
T1H3	35,26	19,15	21,94	76,35	25,45
T2H1	14,60	14,86	13,14	42,60	14,20
T2H2	21,92	20,08	21,75	63,75	21,25
T2H3	21,42	23,42	19,20	64,04	21,35
T3H1	17,73	13,59	11,51	42,83	14,28
T3H2	16,02	15,02	11,56	42,60	14,20
T3H3	26,26	18,35	19,50	64,11	21,37
				505,02	18,70
				Total general	Media general

Tabla 33- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (T,H) (MAIZ).

Análisis de varianza C = 9446,12

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	662,25				
Exp.Elemental (T,H)	8	411,25	51,41	3,69*	2,51	3,71
Error	18	251,00	13,94			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Exp.Elemental	8	411,25	51,41	3,69*		
T	2	70,91	35,46	2,54ns	3,55	6,01
H	2	283,82	141,91	10,18**	3,55	6,01
TxH	4	56,52	14,13	1,01ns	2,93	4,58
Error	18	251,00	13,94			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados;

Existe una diferencia significativa (probabilidad $< 5\%$) entre las medias de los experimentos elementales, lo que hace pensar que hay un efecto real de éstos sobre la respuesta.

En la separación de medias se observan diferencias altamente significativas (pr. $< 1\%$) debidas al efecto que produce las distintas humedades iniciales del material ensayado. La temperatura del aire de secado no presenta diferencias significativas a los niveles estudiados, sin embargo, con una F de 2,54 no se debe afirmar que no exista ningún efecto real sobre la respuesta.

El efecto de una posible interacción entre estos dos factores resulta no significativa.

Tabla 34- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tiempo de residencia y la humedad inicial del material introducido (MAIZ).

Exp. Elemental n = 9	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%) r =3			Total Exp. Elem.	Media Exp. Elem.
t1H1	13,59	16,95	14,86	45,40	15,13
t1H2	21,92	19,50	26,26	67,68	22,56
t1H3	35,26	21,81	23,42	80,49	26,83
t2H1	15,48	17,73	15,18	48,39	16,13
t2H2	22,63	18,35	15,02	56,00	18,67
t2H3	21,42	19,20	21,75	62,37	20,79
t3H1	14,60	11,51	13,14	39,25	13,08
t3H2	20,08	16,02	11,56	47,66	15,89
t3H3	21,94	16,69	19,15	57,78	19,26
				505,02	18,70
				Total general	Media general

Tabla 35- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (t,H) (MAIZ).

Análisis de varianza C = 9446,12

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	662,25				
Exp.Elemental (t,H)	8	433,40	54,18	4,26**	2,51	3,71
Error	18	228,85	12,71			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Exp.Elemental	8	433,40	54,18	4,26**		
t	2	133,15	66,58	5,24*	3,55	6,01
H	2	255,38	127,69	10,04**	3,55	6,01
TxH	4	44,87	11,22	0,88ns	2,93	4,58
Error	18	228,85	12,71			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existe una diferencia altamente significativa (probabilidad $< 1\%$) entre las medias de los experimentos elementales, lo que hace pensar que hay un efecto real de éstos sobre la respuesta.

En la separación de medias se observan diferencias significativas (pr. $< 5\%$) debidas al efecto que produce los diferentes tiempos de secado y diferencias altamente significativas (pr. $< 1\%$) debidas al efecto que produce las distintas humedades iniciales del material ensayado.

Sin embargo, el efecto de una posible interacción entre estos dos factores resulta no significativa.

c.- Efecto de (V, T y t) sobre el descenso de humedad:

Se estudió aquí el efecto de los tres factores de variación derivados de las distintas condiciones de secado del secadero: velocidad (V) y temperatura (T) del aire de entrada y tiempo de residencia (t) sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos) independientemente de la humedad inicial del material introducido:

A.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Velocidades y tres Temperaturas distintas del aire de entrada.

Bloques: tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Tabla 36.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (VT) y el bloque (t) considerado (MAIZ).

Tratamientos		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		t1	t2	t3		
A	V1T1	35,26	15,48	19,15	69,89	23,30
B	V1T2	21,92	21,42	20,08	63,42	21,14
C	V1T3	26,26	17,73	16,02	60,01	20,00
D	V2T1	21,81	22,63	21,94	66,38	22,13
E	V2T2	23,42	19,20	14,60	57,22	19,07
F	V2T3	13,59	18,35	11,51	43,45	14,48
G	V3T1	16,95	15,18	16,69	48,82	16,27
H	V3T2	14,86	21,75	13,14	49,75	16,58
I	V3T3	19,50	15,02	11,56	46,08	15,36
Total Bloque	Tb	193,57	166,76	144,69	505,02	
Media Bloque	Xb	21,51	18,53	16,08		18,70

Tabla 37.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (VT) y Bloques (t) (MAÍZ).

Análisis de varianza C = 9446,12

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	662,25				
Bloques (t)	2	133,15	66,58	3,68*	3,63	6,23
Tratamientos (V,T)	8	239,90	29,99	1,66ns	2,59	3,89
Error	16	289,20	18,07			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	239,90	29,99	1,66ns		
V	2	131,88	65,94	3,65*	3,63	6,23
T	2	70,91	35,46	1,96ns	3,63	6,23
VxT	4	37,12	9,28	0,51ns	3,01	4,77
Error	16	289,20	18,07			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existen diferencias significativas ($pr < 5\%$) debidas a los bloques, es decir, se puede esperar un efecto real del tiempo de residencia sobre la respuesta.

Las diferencias entre las medias de los tratamientos no resultaron significativas pero sin embargo si se hace la separación de medias se observan unas diferencias significativas ($pr. < 5\%$) entre las medias de los ensayos realizados con diferente velocidad.

No existe, sin embargo, un efecto real de la interacción entre la velocidad y la temperatura de secado.

B.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Velocidades del aire de secado y tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Bloques: tres Temperaturas distintas del aire de entrada.

Tabla 38.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Vt) y el bloque (T) considerado (MAIZ).

Tratamiento		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		T1	T2	T3		
A	V1t1	35,26	21,92	26,26	83,44	27,81
B	V1t2	15,48	21,42	17,73	54,63	18,21
C	V1t3	19,15	20,08	16,02	55,25	18,42
D	V2t1	21,81	23,42	13,59	58,82	19,61
E	V2t2	22,63	19,20	18,35	60,18	20,06
F	V2t3	21,94	14,60	11,51	48,05	16,02
G	V3t1	16,95	14,86	19,50	51,31	17,10
H	V3t2	15,18	21,75	15,02	51,95	17,32
I	V3t3	16,69	13,14	11,56	41,39	13,80
Total Bloque	Tb	185,09	170,39	149,54	505,02	
Media Bloque	Xb	20,57	18,93	16,62		18,70

Tabla 39.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Vt) y Bloques (T) (MAÍZ).

Análisis de varianza C = 9446,12

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	662,25				
Bloques (T)	2	70,91	35,46	2,51ns	3,63	6,23
Tratamientos (V,t)	8	365,25	45,66	3,23*	2,59	3,89
Error	16	226,09	14,13			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	365,25	45,66	3,23*		
V	2	131,88	65,94	4,67*	3,63	6,23
t	2	133,15	66,58	4,71*	3,63	6,23
Vxt	4	100,22	25,06	1,77ns	3,01	4,77
Error	16	226,09	14,13			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Los bloques presentan diferencias no significativas pero con un F observado de 2,51 no se debe afirmar rotundamente que no exista un efecto real de la temperatura de secado sobre la respuesta.

Los tratamientos presentan diferencias significativas (pr. < 5%) entre las medias, haciendo la separación de éstas se puede observar que estas diferencias son debidas al efecto que produce sobre la respuesta tanto la velocidad de secado como el tiempo de residencia del material.

La interacción de estos dos factores produce diferencias no significativas.

C.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Temperaturas distintas del aire de entrada y tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Bloques:. tres Velocidades del aire de secado.

Tabla 40.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Tt) y el bloque (V) considerado (MAIZ).

Tratamiento		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		V1	V2	V3		
A	T1t1	35,26	21,81	16,95	74,02	24,67
B	T1t2	15,48	22,63	15,18	53,29	17,76
C	T1t3	19,15	21,94	16,69	57,78	19,26
D	T2t1	21,92	23,42	14,86	60,20	20,07
E	T2t2	21,42	19,20	21,75	62,37	20,79
F	T2t3	20,08	14,60	13,14	47,82	15,94
G	T3t1	26,26	13,59	19,50	59,35	19,78
H	T3t2	17,73	18,35	15,02	51,10	17,03
I	T3t3	16,02	11,51	11,56	39,09	13,03
Total Bloque	Tb	193,32	167,05	144,65	505,02	
Media Bloque	Xb	21,48	18,56	16,07		18,70

Tabla 41.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Tt) y Bloques (V) (MAÍZ).

Análisis de varianza C = 9446,12

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	662,25				
Bloques (V)	2	131,88	65,94	3,91*	3,63	6,23
Tratamientos (T,t)	8	260,48	32,56	1,93ns	2,59	3,89
Error	16	269,90	16,87			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	260,48	32,56	1,93ns		
T	2	70,91	35,46	2,10ns	3,63	6,23
t	2	133,15	66,58	3,95*	3,63	6,23
Txt	4	56,41	14,10	0,84ns	3,01	4,77
Error	16	269,90	16,87			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existen diferencias significativas ($p < 5\%$) debidas a los bloques, es decir, se puede esperar un efecto real de la velocidad de secado sobre la respuesta.

Las diferencias entre las medias de los tratamientos no resultaron significativas pero sin embargo si se hace la separación se observan diferencias significativas ($p < 5\%$) entre las medias de los ensayos realizados con distinto tiempo de residencia.

La temperatura no produce diferencias significativas, sin embargo, con un F de 2,10, no se debe afirmar rotundamente que no exista un efecto real sobre la respuesta

No existe, sin embargo, un efecto real de la interacción entre el tiempo de residencia y la temperatura de secado.

En el Anexo III, se presentan las curvas de secado en las que se muestra la variación de la humedad (H' y H) a lo largo del tiempo de secado para cada ensayo:

Curva: “Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: H' y H en %; abscisas: t (min).

5.1.3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO.

I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.

Tabla 42.- Resultados de los Balances de energía para cada uno de los ensayos (MAIZ).

Ensayo	n°	Energía (cal · g ⁻¹)				
		Entrada E	Salida S	Aportada A	Utilizada U = E+A-S	Reutilizable R=S-E
V1T1t1	1	8997,50	9567,99	4150,10	3579,61	570,49
V1T1t2	2	2950,47	3086,06	1348,32	1212,73	135,59
V1T1t3	3	2107,93	2200,63	1177,06	1084,36	92,70
V1T2t1	4	5141,60	5409,26	2069,81	1802,15	267,66
V1T2t2	5	3902,01	4078,25	1703,40	1527,16	176,24
V1T2t3	6	2039,22	2210,05	995,15	824,32	170,83
V1T3t1	7	5431,36	5628,78	2364,67	2167,25	197,42
V1T3t2	8	2984,98	3119,95	1601,99	1467,02	134,97
V1T3t3	9	1776,36	1882,32	785,46	679,50	105,96
V2T1t1	10	3065,15	3334,34	1535,70	1266,51	269,19
V2T1t2	11	3548,02	3826,55	1890,91	1612,38	278,53
V2T1t3	12	1108,37	1299,16	601,84	411,05	190,79
V2T2t1	13	3045,25	3273,62	1450,57	1222,20	228,37
V2T2t2	14	2096,09	2264,77	1013,15	844,47	168,68
V2T2t3	15	1065,21	1291,45	580,19	353,95	226,24
V2T3t1	16	2377,08	2517,61	1165,98	1025,45	140,53
V2T3t2	17	1836,29	1818,53	831,94	849,70	-17,76
V2T3t3	18	1073,43	1119,02	445,60	400,01	45,59
V3T1t1	19	1867,55	2068,90	1290,86	1089,51	201,35
V3T1t2	20	1149,72	1218,84	739,13	670,01	69,12
V3T1t3	21	676,38	793,05	381,92	265,25	116,67
V3T2t1	22	1793,13	1894,33	952,78	851,58	101,20
V3T2t2	23	1272,82	1483,72	651,92	441,02	210,90
V3T2t3	24	550,86	628,35	305,15	227,66	77,49
V3T3t1	25	1715,23	1761,29	931,53	885,47	46,06
V3T3t2	26	950,37	1078,39	394,14	266,12	128,02
V3T3t3	27	532,30	631,60	248,05	148,75	99,30

NOTA: E = energía en la Entrada; S = energía en la Salida; A = energía Aportada; U = energía Utilizada en el secado; R = energía “Reutilizable”.

La energía a la entrada (E) del secadero que es la contenida en el aire debido a su temperatura, en el “agua” del aire (debido a la humedad y a la temperatura de éste), en el sólido debido a su temperatura y en el “agua” del sólido (debido a la humedad y a la temperatura de éste).

La energía en la salida (S) del secadero que es la contenida en el aire debido a su temperatura, en el “agua” del aire (debido a la humedad y la temperatura de éste), en el sólido debido a su temperatura y en el “agua” del sólido (debido a la humedad y la temperatura de éste).

La energía Aportada (A) que es la debida al uso del ventilador para impulsar el aire y a las resistencias eléctricas para elevar la temperatura del mismo, esta energía se introduce en el secadero externamente.

Se hace notar que la energía que entra en el secadero (no incluyendo la aportada externamente) es menor que la energía que sale debido a que, de la energía que se aporta, parte es Utilizada para el secado (U) y parte para el incremento que se produce en la salida que pudiera llegar a ser reutilizable, de ahí su nombre (R).

Tabla 43.- Resultados de los balances de energía para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).

Condiciones de secado			Energía (cal · g ⁻¹)				
			Entrada E	Salida S	Aportada A	Utilizada U = E+A-S	Reutilizable R=S-E
Velocidad del aire (V) (m · s ⁻¹)	V 1	0,85	3925,71	4131,48	1799,55	1593,79	205,76
	V 2	0,60	2134,99	2305,01	1057,32	887,30	170,02
	V 3	0,35	1167,60	1284,27	655,05	538,37	116,68
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	2830,12	3043,95	1457,31	1243,49	213,83
	T2	45	2322,91	2503,76	1080,24	899,39	180,85
	T3	40	2075,27	2173,05	974,37	876,58	97,79
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	3714,87	3939,57	1768,00	1543,30	224,70
	t2	0,50	2298,97	2441,67	1130,54	987,84	142,70
	t3	0,25	1214,45	1339,51	613,38	488,32	125,06

Como se puede observar en la Tabla anterior, es cuando se utiliza una mayor velocidad de aire (V1), una mayor temperatura (T1) y en los ensayos más largos (t1) cuando se tiene una mayor energía perdida o en su caso reutilizable.

II.- ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SECADO FORZADO

Tabla 44.- Incremento en el poder calorífico y energía Aportada en el secado forzado (MAIZ)².

Ensayo	n°	PCS (cal · g⁻¹) inicial	PCS (cal · g⁻¹) final	Incremento en el Poder calorífico con el secado (cal · g⁻¹)	Energía Aportada en el secado (cal · g⁻¹)
V1T1t1	1	2483,13	3997,24	1514,11	4150,10
V1T1t2	2	3214,22	3878,7	664,48	1348,32
V1T1t3	3	2787,95	3610,29	822,34	1177,06
V1T2t1	4	3021,8	3962,74	940,94	2069,81
V1T2t2	5	2832,98	3752,9	919,92	1703,40
V1T2t3	6	2932,86	3795,16	862,30	995,15
V1T3t1	7	2830,21	3957,91	1127,70	2364,67
V1T3t2	8	3179,71	3940,82	761,11	1601,99
V1T3t3	9	2977,88	3665,91	688,03	785,46
V2T1t1	10	2803,22	3739,52	936,30	1535,70
V2T1t2	11	2952,11	3924,04	971,93	1890,91
V2T1t3	12	2548,24	3490,05	941,81	601,84
V2T2t1	13	2739,98	3745,69	1005,71	1450,57
V2T2t2	14	2823,52	3648,33	824,81	1013,15
V2T2t3	15	3053,46	3680,26	626,80	580,19
V2T3t1	16	3277,99	3861,46	583,47	1165,98
V2T3t2	17	2961,02	3748,88	787,86	831,94
V2T3t3	18	3246,53	3740,89	494,36	445,60
V3T1t1	19	3284,19	4011,71	727,52	1290,86
V3T1t2	20	3204,61	3856,42	651,81	739,13
V3T1t3	21	2853,31	3569,84	716,53	381,92
V3T2t1	22	3346,29	3984,41	638,12	952,78
V3T2t2	23	2890,77	3824,57	933,80	651,92
V3T2t3	24	3046	3610,19	564,19	305,15
V3T3t1	25	2975,06	3890,26	915,20	931,53
V3T3t2	26	3031,37	3676,72	645,35	394,14
V3T3t3	27	3032,92	3529,07	496,15	248,05

El mayor incremento en el poder calorífico debido al secado forzado, es decir, el mayor incremento en cal · g⁻¹ se produce en el ensayo V1T1t1, siendo ésta de 1514,11 cal · g⁻¹, lógicamente es el ensayo donde mayor puntos de humedad se redujeron.

² PCS (cal · g⁻¹) = Poder calorífico Superior (al iniciar y al finalizar el secado) del material.

Incremento en el Poder Calorífico (debido al descenso de humedad del material).

Energía Aportada en el secado (cal · g⁻¹).

El menor incremento en el poder calorífico se produjo en el ensayo en que menos puntos de humedad se redujeron: V2T3t3 con un incremento de 494,36 cal · g⁻¹.

El mayor aporte energético en los diferentes ensayos de secado varía en un intervalo que va desde 4150,10 cal · g⁻¹ para el ensayo V1T1t1 (coincide con el ensayo de mayor incremento energético) hasta un valor de 248,05 cal · g⁻¹ para el ensayo V3T3t3.

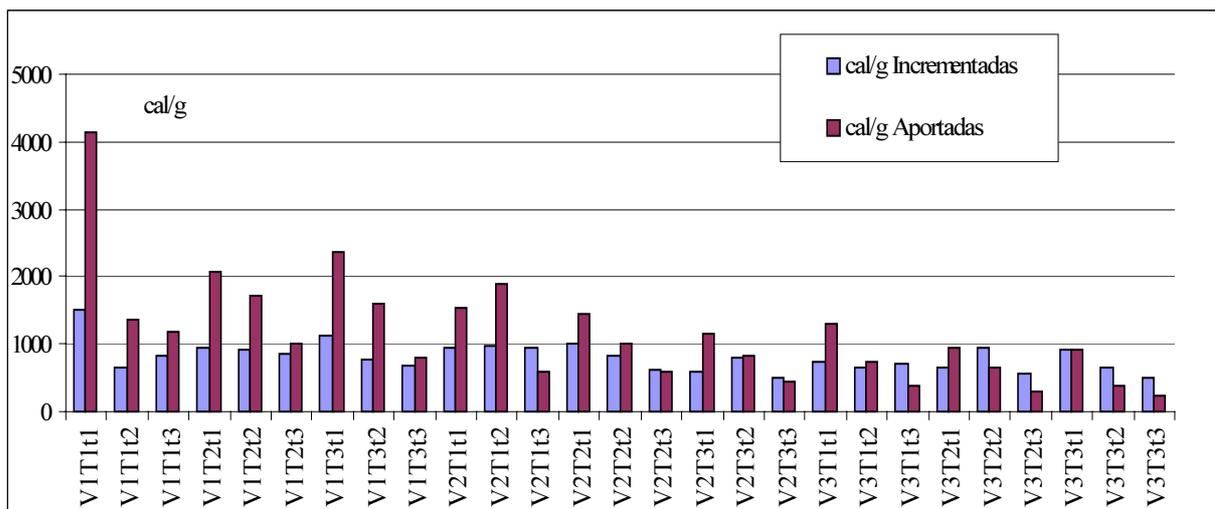


Figura 5.- Gráfico de barras donde se muestra la energía Aportada ($cal \cdot g^{-1}$) durante el secado y el incremento en el Poder Calorífico Superior ($cal \cdot g^{-1}$) durante el mismo, para cada ensayo (MAIZ).

Se compara la energía aportada durante el secado con el incremento que se produce en el poder calorífico del material debido a su reducción de humedad, es decir:

- Ratio incremento/aporte de energía.

Los ensayos que se pueden llamar "satisfactorios" son aquellos en que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad, es decir el ratio incremento/aporte de energía ($cal \cdot g^{-1}$ incrementadas/ $cal \cdot g^{-1}$ aportadas) es mayor de 1 (Tabla 45):

Tabla 45.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada ensayo de secado (MAIZ).

Ensayo	n°	Ratio incremento/aporte de energía (cal · g ⁻¹ incrementadas/cal · g ⁻¹ aportadas)
V1T1t1	1	0,36
V1T1t2	2	0,49
V1T1t3	3	0,70
V1T2t1	4	0,45
V1T2t2	5	0,54
V1T2t3	6	0,87
V1T3t1	7	0,48
V1T3t2	8	0,48
V1T3t3	9	0,88
V2T1t1	10	0,61
V2T1t2	11	0,51
V2T1t3	12*	1,56
V2T2t1	13	0,69
V2T2t2	14	0,81
V2T2t3	15*	1,08
V2T3t1	16	0,50
V2T3t2	17	0,95
V2T3t3	18*	1,11
V3T1t1	19	0,56
V3T1t2	20	0,88
V3T1t3	21*	1,88
V3T2t1	22	0,67
V3T2t2	23*	1,43
V3T2t3	24*	1,85
V3T3t1	25	0,98
V3T3t2	26*	1,64
V3T3t3	27*	2,00

NOTA: el * indica los ensayos considerados como "satisfactorios" en los que la energía incrementada es mayor que la energía aportada.

Tabla 46.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).

Condiciones de secado			Ratio incremento/aporte de energía (cal · g ⁻¹ incrementadas/cal · g ⁻¹ aportadas)
Velocidad del aire (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	0,58
	V2	0,60	0,87
	V3	0,35	1,32
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	0,84
	T2	45	0,93
	T3	40	1,00
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	0,59
	t2	0,50	0,86
	t3	0,25	1,32

Se puede observar en la Tabla anterior que si se hacen las medias de los ratios Incremento/aporte de energía para cada uno de los factores de variación del secadero, son mayor de 1 para V3, T3 y t3.

Esto sugeriría que es a bajas velocidades de aire, bajas temperaturas y cortos períodos de tiempo cuando se consiguen la mayoría de los resultados considerados como “satisfactorios”.

Por otra parte el poder calorífico superior para estos restos de maíz era:

$$PCS(H') = 4293,98 - 42,94 \cdot H' \quad (\text{Ec 1})$$

Según esta expresión, por cada punto que se reduzca la humedad del material el poder calorífico se incrementa en 42,94 cal · g⁻¹, por lo tanto el aporte energético en el secado no deberá ser mayor a este valor, es decir, por cada punto de humedad reducido no deberá consumirse más de 49,79 Wh · kg⁻¹.

Si se observa la Tabla 47, se tiene que, dentro de los ensayos llamados "satisfactorios" (en los que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad) el máximo aporte de energía por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida en el secadero es efectivamente siempre menor a 49,79 Wh · kg⁻¹.

Tabla 47.- Energía total aportada (kWh) y energía aportada por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida (MAIZ).

Ensayo	n°	Energía aportada (kWh)	Wh/°H · Ps (Wh · kg ⁻¹)
V1T1t1	1	5,5	136,11
V1T1t2	2	3,6	100,81
V1T1t3	3	2,0	71,21
V1T2t1	4	4,7	109,24
V1T2t2	5	3,2	91,96
V1T2t3	6	1,7	57,36
V1T3t1	7	3,9	104,26
V1T3t2	8	3,0	104,70
V1T3t3	9	1,3	56,64
V2T1t1	10	3,8	81,57
V2T1t2	11	2,6	96,80
V2T1t3	12*	1,4	31,75
V2T2t1	13	3,2	71,69
V2T2t2	14	2,2	61,04
V2T2t3	15*	1,2	46,06
V2T3t1	16	3,0	99,30
V2T3t2	17	2,0	52,45
V2T3t3	18*	1,0	49,33
V3T1t1	19	3,1	88,14
V3T1t2	20	1,9	56,28
V3T1t3	21*	0,9	26,50
V3T2t1	22	2,2	74,31
V3T2t2	23*	1,5	34,72
V3T2t3	24*	0,8	26,88
V3T3t1	25	2,1	50,55
V3T3t2	26*	1,0	30,39
V3T3t3	27*	0,6	24,88

NOTA: el * indica los ensayos considerados como "satisfactorios" en los que la energía incrementada es mayor que la energía aportada.

Las curvas que se presentan a continuación reflejan, para cada ensayo, el incremento de poder calorífico superior (debido al descenso de humedad) con respecto al aporte energético necesario durante el secado.

Se observará en ellas que en algunos ensayos desde el principio la energía aportada crece con mayor pendiente que el poder calorífico, eso significará que en ningún momento del secado es rentable.

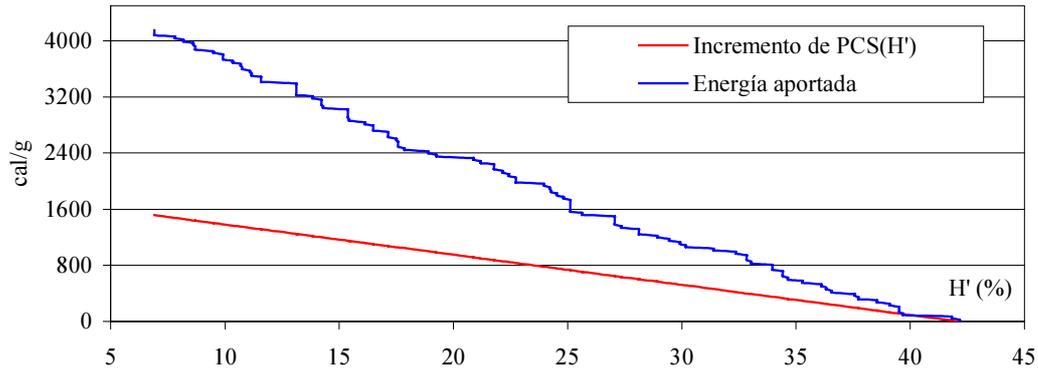
En otras curvas, el aporte energético crece con menor pendiente que el poder calorífico, en un principio, para después sobrepasarlo y dispararse, eso significará que sólo al comienzo del secado se puede conseguir que éste sea rentable energéticamente.

En otros ensayos el aporte energético crece con menor pendiente que el poder calorífico durante todo el secado, éstos serán los ensayos energéticamente rentables, pues el incremento en el poder calorífico es en todo momento superior al consumo.

Aparte se elaboraron una serie de curvas que se describen a continuación y se presentan en el Anexo IV:

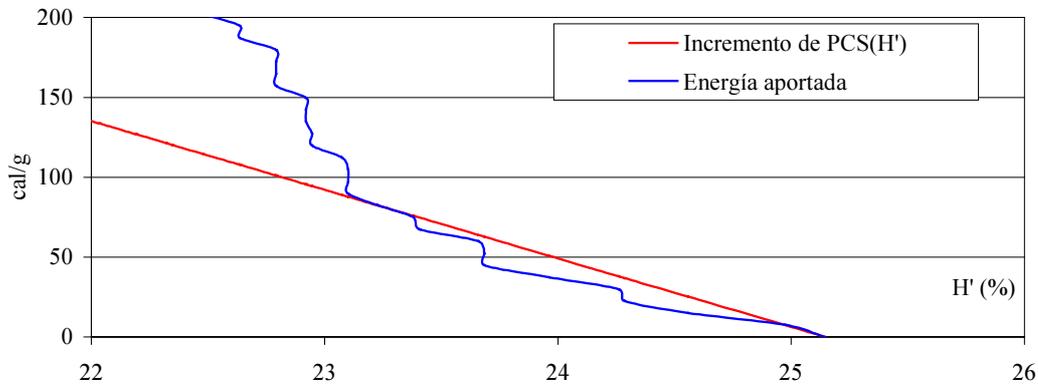
- a) *Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función del tiempo de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: t (min).*
- b) *Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función de la humedad reducida en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' (%).*
- c) *Curva: “Poder calorífico del material ($\text{PCS}(H')$) en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) y energía aportada para su secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' (%).*

V1T1t1



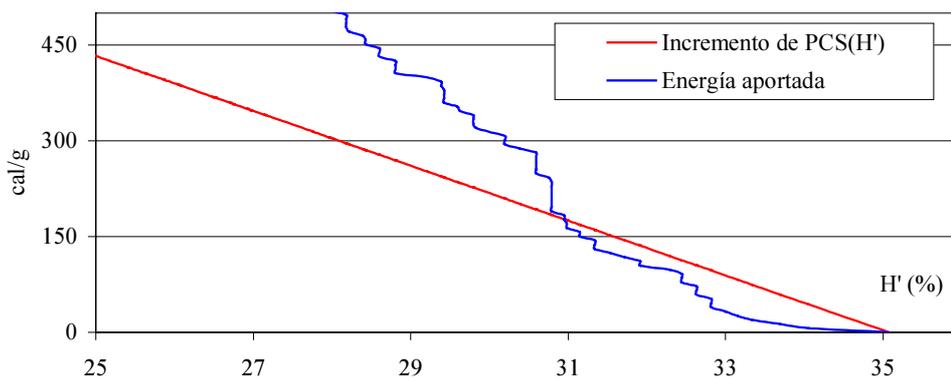
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T1t2



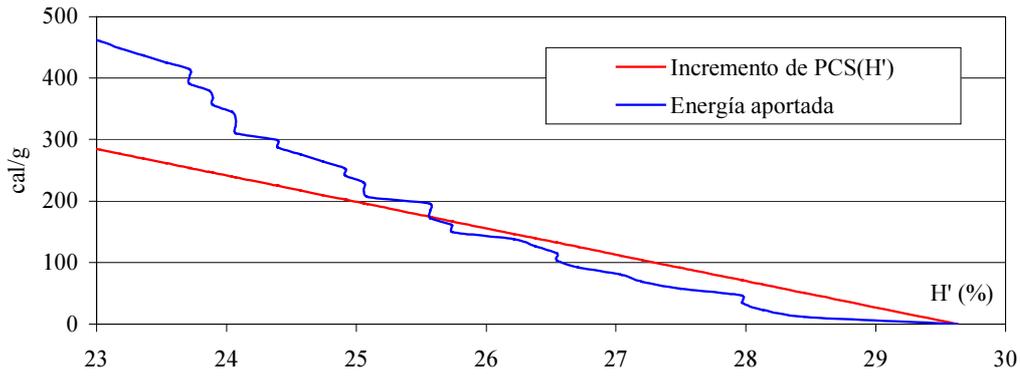
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	23,38	
H (%)	30,51	1,77

V1T1t3



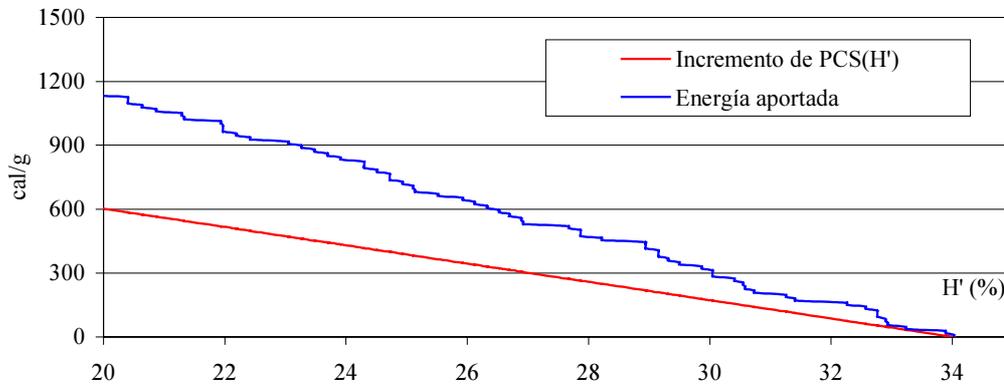
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	30,95	
H (%)	44,82	4,12

V1T2t1



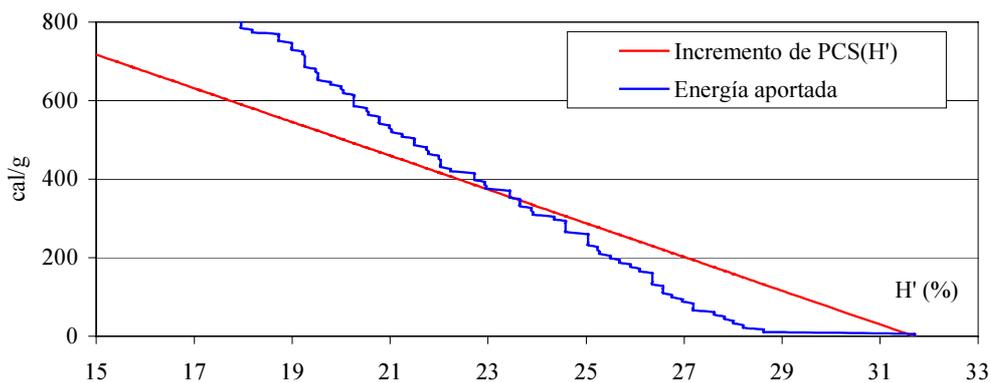
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	25,57	
H (%)	34,35	4,06
		3,75

V1T2t2



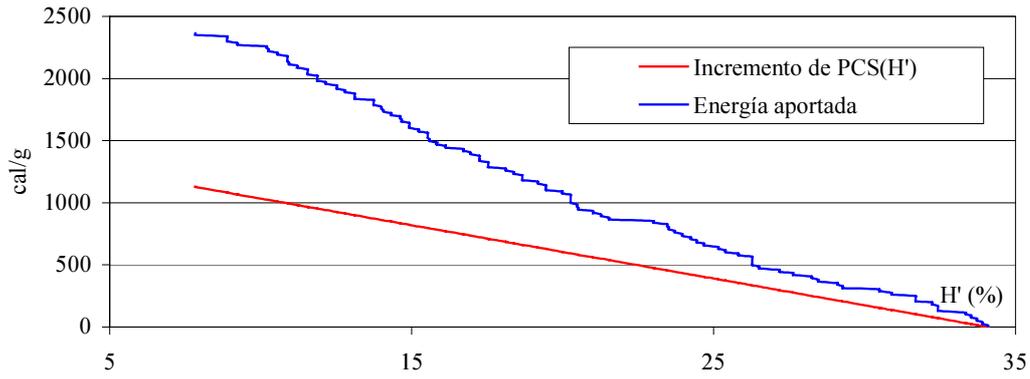
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00
		0,00

V1T2t3



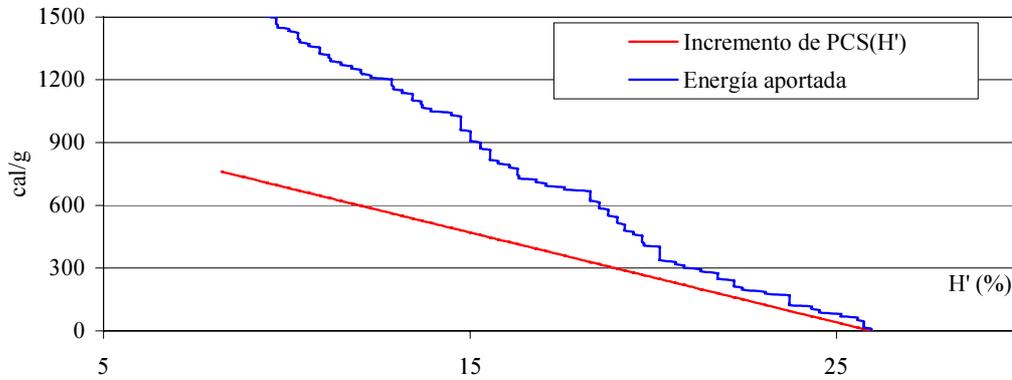
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	23,44	
H (%)	30,62	8,26
		5,33

V1T3t1



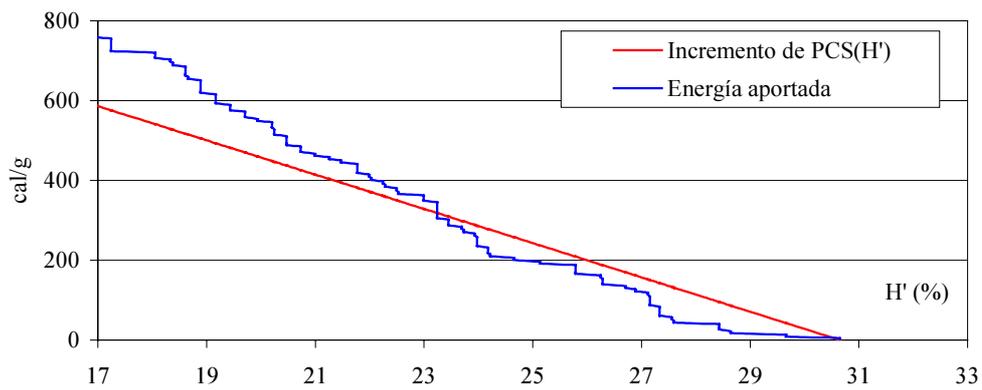
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T3t2



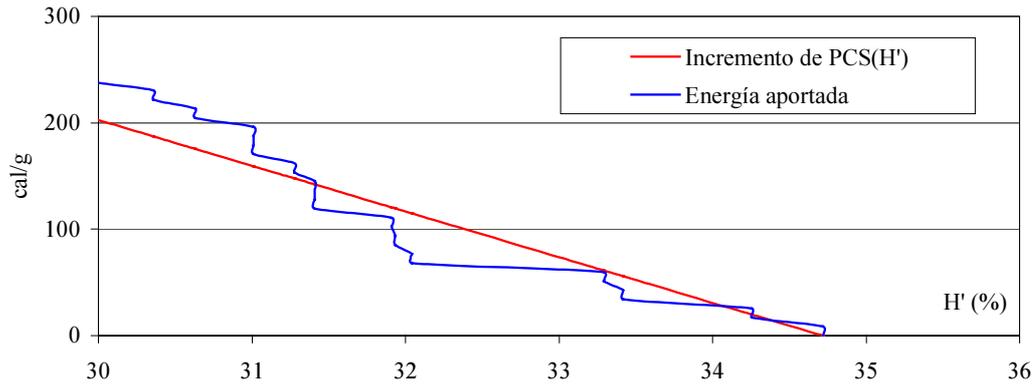
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T3t3



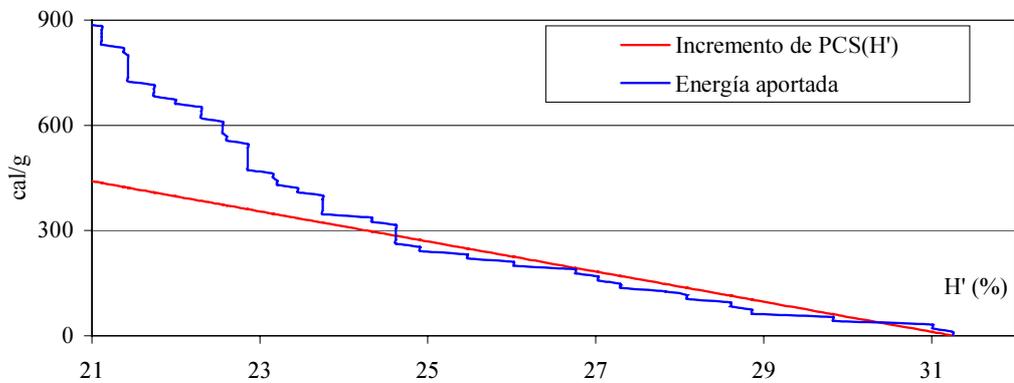
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	23,24	
H (%)	30,28	7,41

V2T1t1



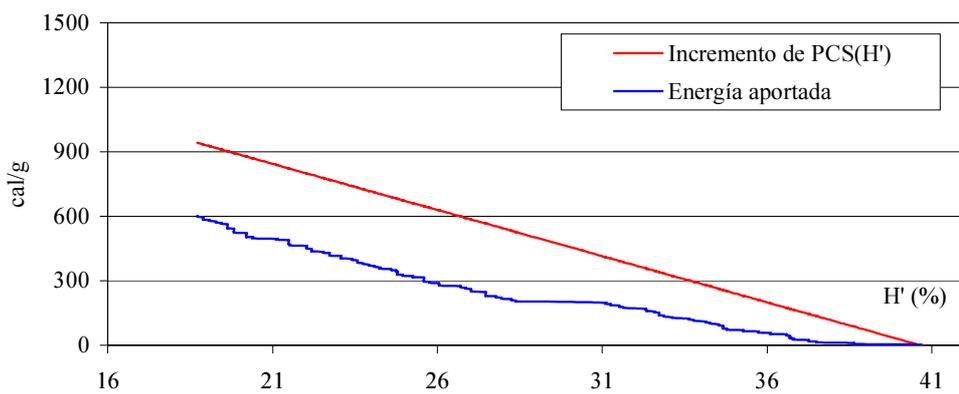
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	31,41	
H (%)	45,79	3,31
		4,00

V2T1t2



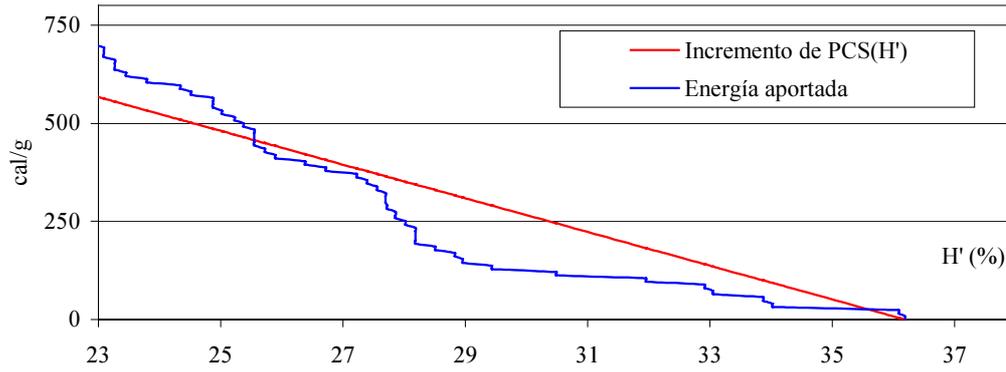
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	24,62	
H (%)	32,66	6,63
		4,50

V2T1t3



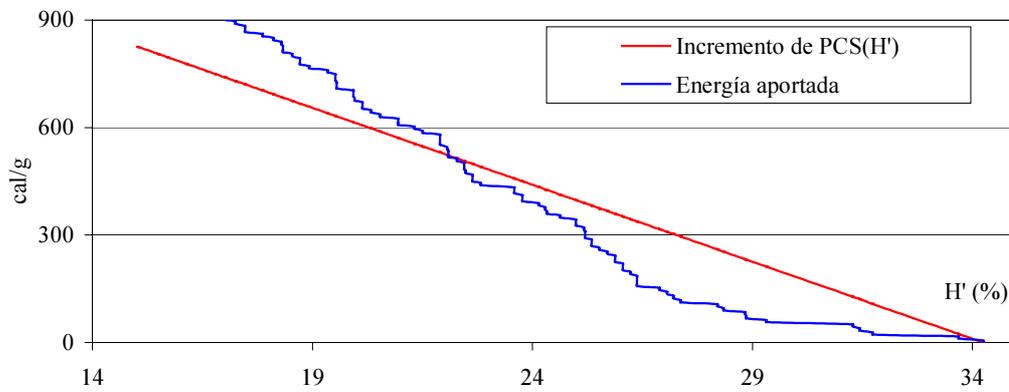
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	18,72	
H (%)	23,03	21,94
		15,00

V2T2t1



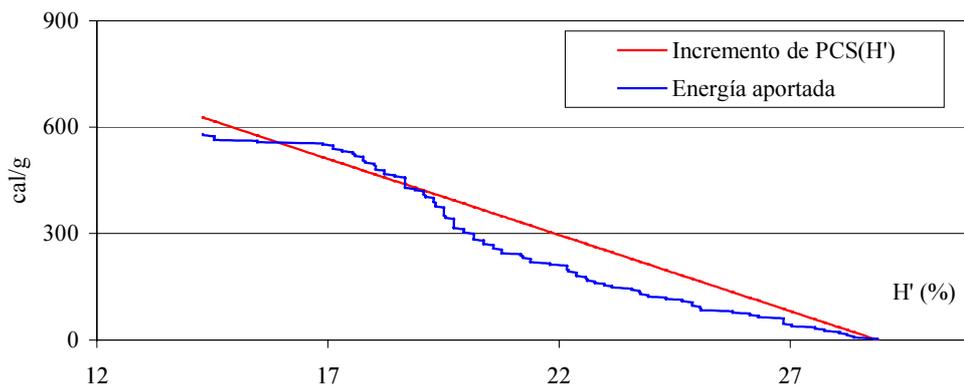
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	25,55	
H (%)	34,32	10,64
		14,00

V2T2t2



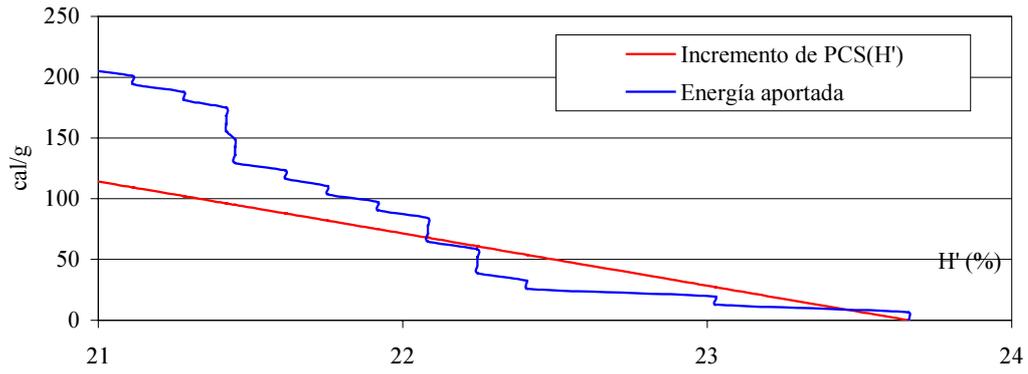
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	22,09	
H (%)	28,35	12,15
		15,33

V2T2t3



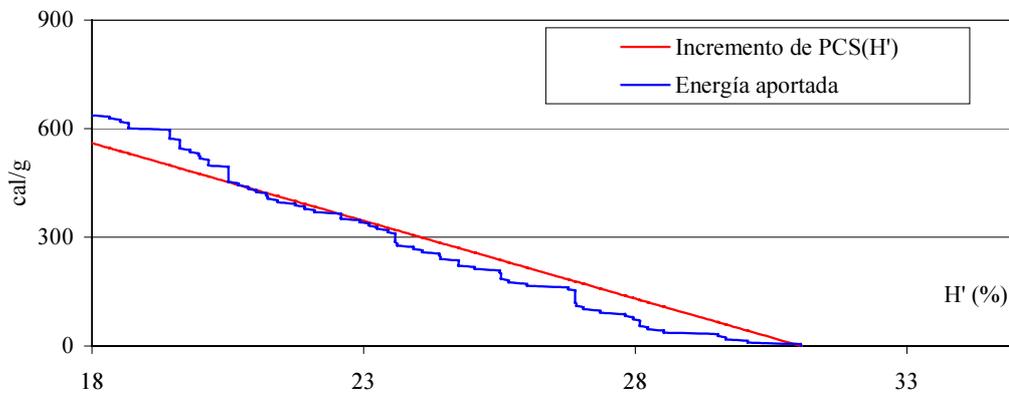
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	14,31	
H (%)	16,70	14,58
		15,00

V2T3t1



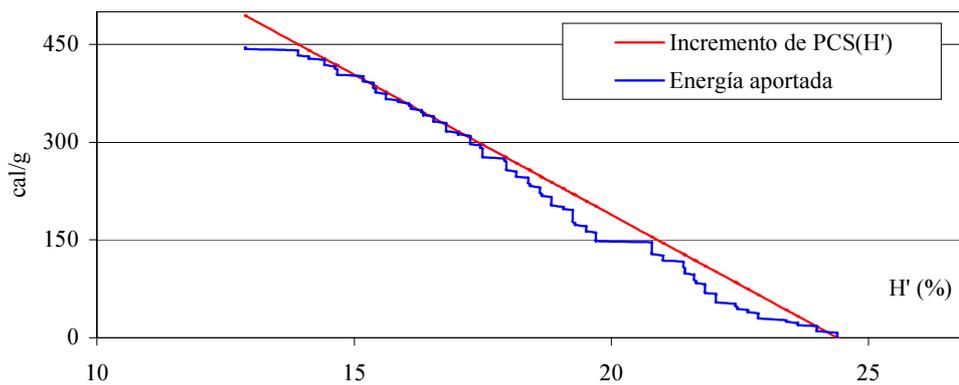
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	22,08	
H (%)	28,34	1,58
		2,50

V2T3t2



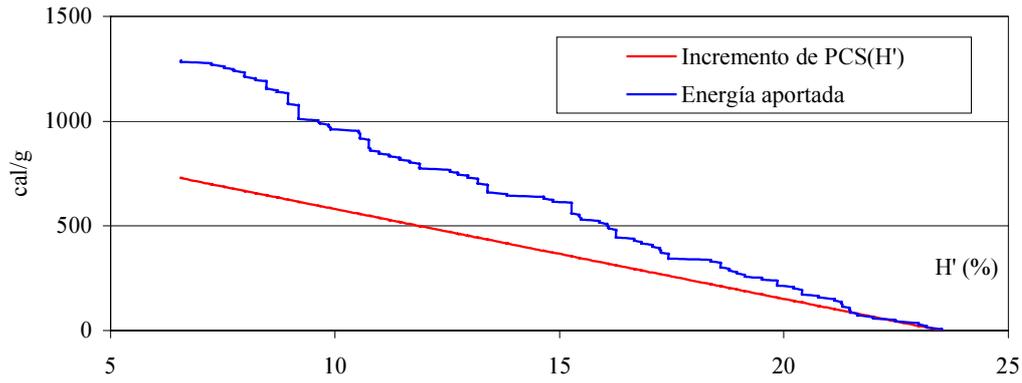
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	20,88	
H (%)	26,39	10,16
		15,67

V2T3t3



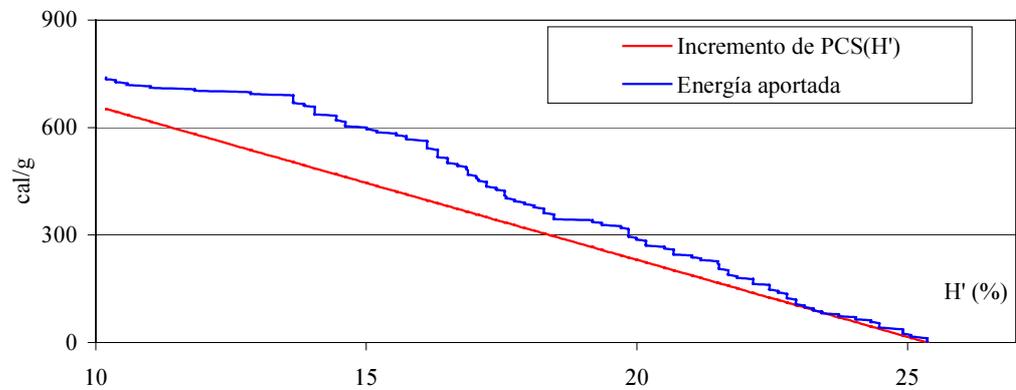
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	12,89	
H (%)	14,80	11,50
		15,00

V3T1t1



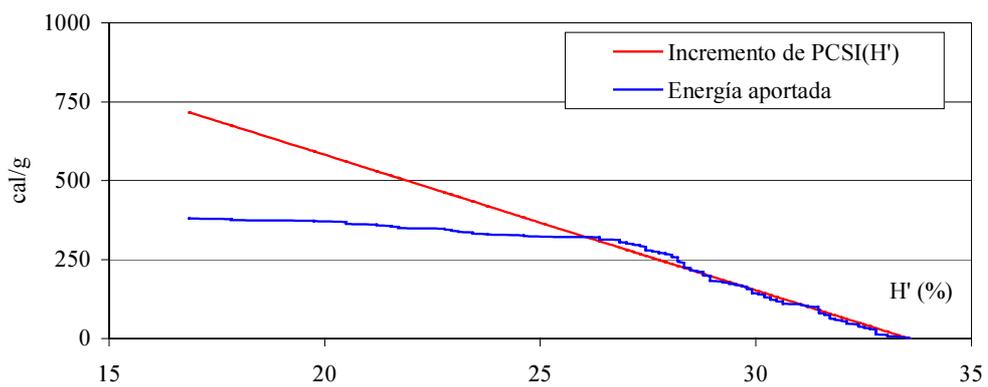
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V3T1t2



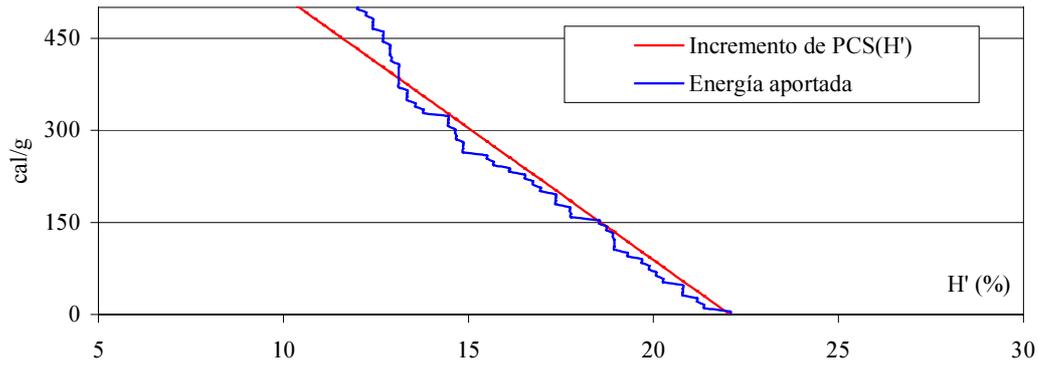
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V3T1t3



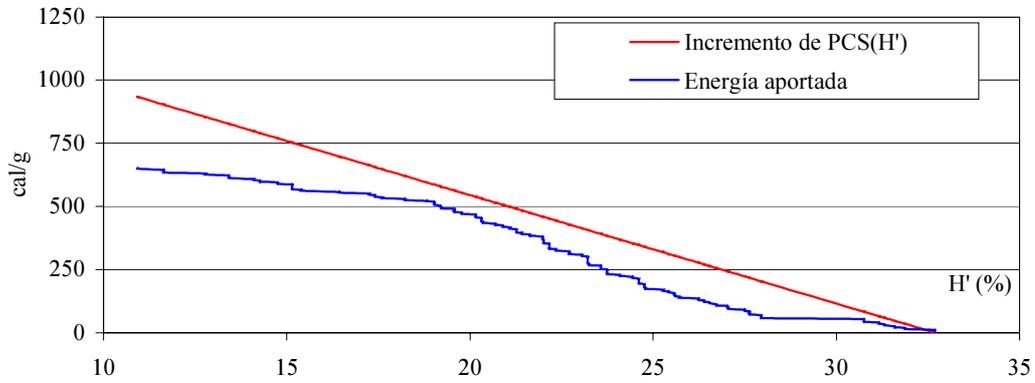
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	16,87	
H (%)	20,29	16,68

V3T2t1



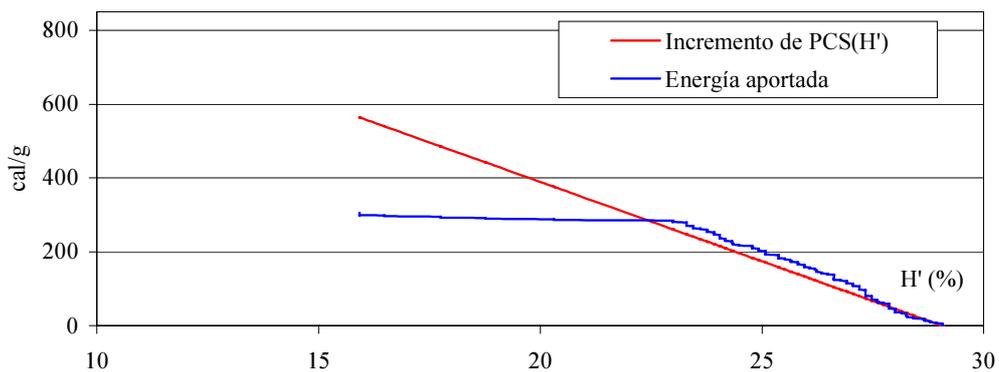
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%) 13,11		
H (%) 15,09	8,96	18,00

V3T2t2



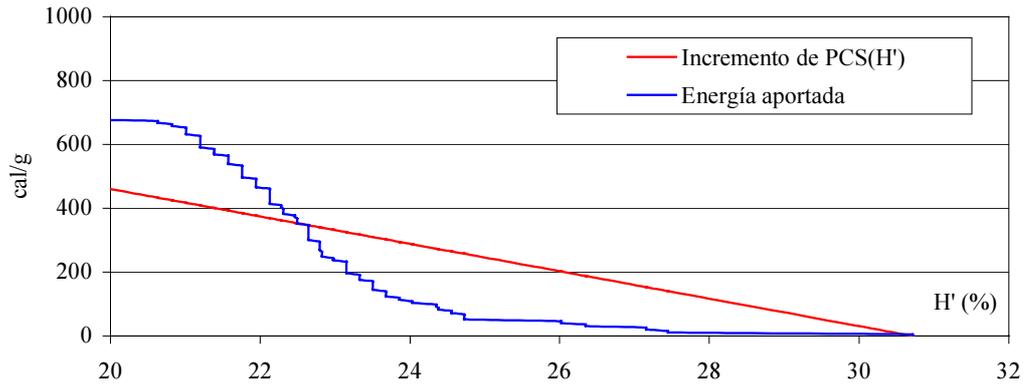
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%) 10,95		
H (%) 12,30	21,73	30,00

V3T2t3



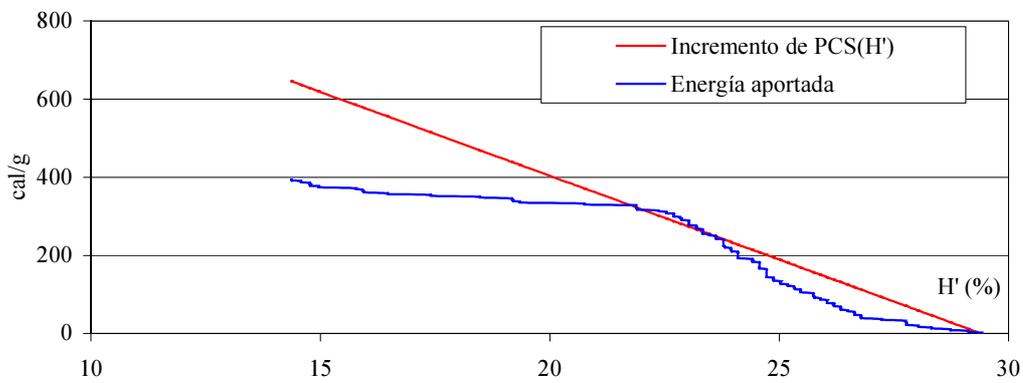
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%) 15,92		
H (%) 18,93	13,14	15,00

V3T3t1



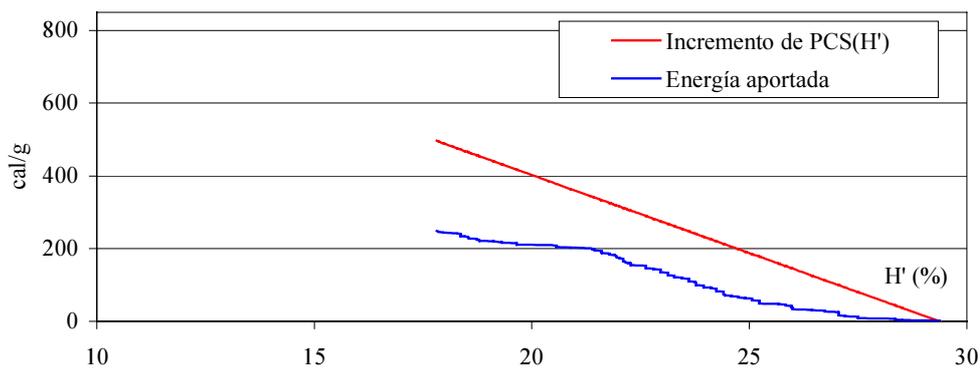
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	22,49	
H (%)	29,02	8,23
		17,00

V3T3t2



Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	14,39	
H (%)	16,81	15,01
		30,00

V3T3t3



Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	17,83	
H (%)	21,70	11,54
		15,00

5.2.- RESTOS DE CEBADA.

5.2.1- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.

Se realizaron a la vez los ensayos de determinación de la humedad en estufa y de determinación del PCS (H') en el calorímetro.

Tabla 48.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) de los restos de cebada.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	15,49	18,33
B	15,03	17,69
C	15,83	18,80
Media	15,45	18,28
Desv. Típ.	0,40	0,56
CV%	2,58	3,05

Para un gramo de muestra las calorías a introducir como corrección serán: $N(0,5\%) = 5,0357 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ y $S(0,05\%) = 1,1260 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, para las diferentes cantidades de muestra, las correcciones fueron:

Tabla 49.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de los restos de cebada.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,3934	1,9810	0,4430
2	0,2886	1,4533	0,3250
3	0,2945	1,4830	0,3316

Correcciones: $N = 0,5\% \quad \text{cal} \cdot \text{g}^{-1} = 5,0357$

$S = 0,05\% \quad \text{cal} \cdot \text{g}^{-1} = 1,1260$

En la determinación del poder calorífico para los restos de cebada los resultados han sido:

Tabla 50.- Poder Calorífico Superior de los restos de cebada.

Muestra	PCS(H'=15,45%) cal · g ⁻¹	PCS(0) cal · g ⁻¹	PCS(H=18,28%) cal · g ⁻¹
1	3575,88	4229,36	3575,83
2	3596,10	4253,27	3596,05
3	3616,88	4277,85	3616,83
Media	3596,29	4253,49	3596,23
s	16,74	19,80	16,74
CV%	0,47	0,47	0,47

Tabla 51.- Poder Calorífico Inferior de los restos de cebada

Muestra	PCI(H'=15,45%) cal · g ⁻¹	PCI(0) cal · g ⁻¹	PCI(H=18,28%) cal · g ⁻¹
1	3220,12	3914,98	3220,07
2	3240,34	3938,90	3240,29
3	3261,12	3963,47	3261,07
Media	3240,53	3939,12	3240,47
s	16,74	19,80	16,74
CV%	0,52	0,50	0,52

A continuación se presentan las curvas de Poder Calorífico Superior e Inferior en cal · g⁻¹ de los restos de cebada en función de su contenido de humedad.

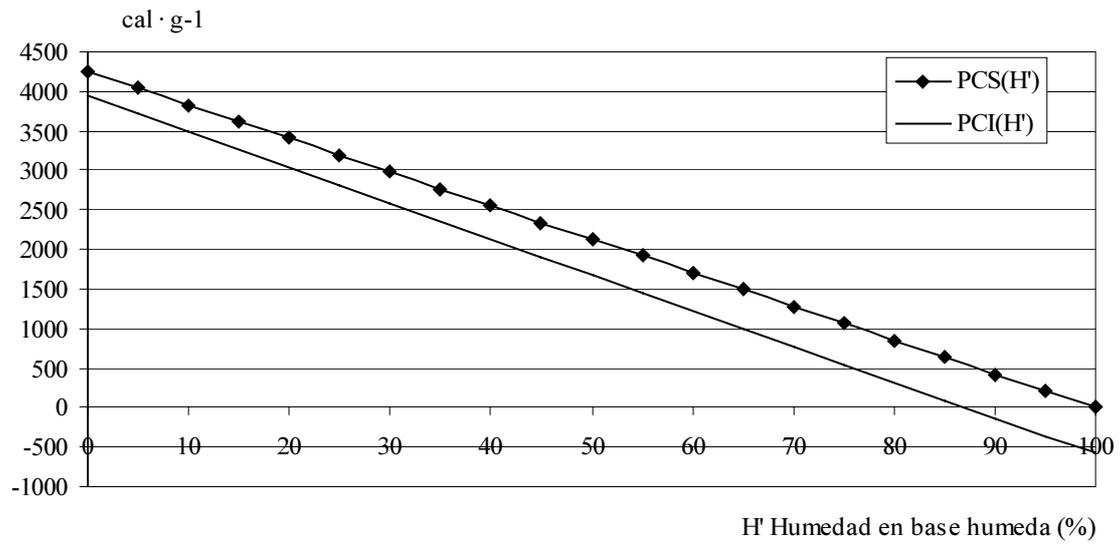


Figura 6.- Poder Calorífico Superior PCS (H') y Poder Calorífico Inferior PCI (H') en base húmeda para los restos de cebada.

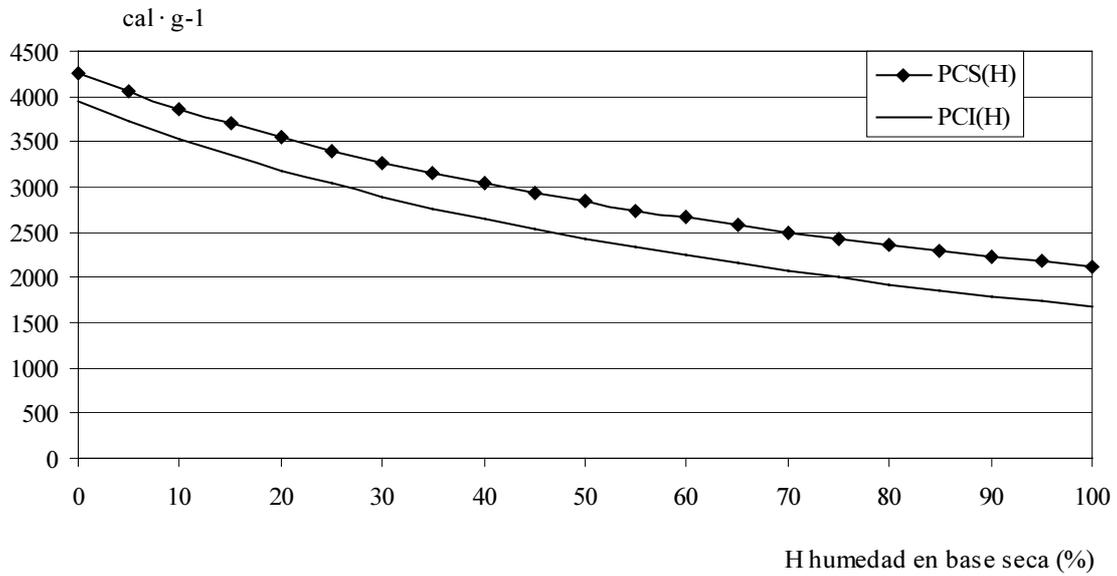


Figura 7.- Poder Calorífico Superior PCS (H) y Poder Calorífico Inferior PCI (H) en base seca para los restos de cebada.

NOTA: Tabla de valores de las curvas presentadas anteriormente.

Tabla 52.- Poder Calorífico Superior e Inferior de los restos de cebada para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).

H' y/o H %	PCS(H') cal · g⁻¹	PCI(H') cal · g⁻¹	PCS(H) cal · g⁻¹	PCI(H) cal · g⁻¹
0	4253,49	3938,78	4253,49	3938,78
5	4040,82	3712,70	4050,95	3723,47
10	3828,14	3486,62	3866,81	3527,73
15	3615,47	3260,54	3698,69	3349,01
20	3402,79	3034,47	3544,58	3185,18
25	3190,12	2808,39	3402,79	3034,47
30	2977,45	2582,31	3271,92	2895,34
35	2764,77	2356,23	3150,74	2766,52
40	2552,10	2130,15	3038,21	2646,90
45	2339,42	1904,07	2933,44	2535,53
50	2126,75	1677,99	2835,66	2431,59
55	1914,07	1451,91	2744,19	2334,35
60	1701,40	1225,83	2658,43	2243,19
65	1488,72	999,75	2577,87	2157,55
70	1276,05	773,67	2502,06	2076,95
75	1063,37	547,60	2430,57	2000,96
80	850,70	321,52	2363,05	1929,19
85	638,02	95,44	2299,19	1861,30
90	425,35	-130,64	2238,68	1796,98
95	212,67	-356,72	2181,28	1735,96
100	0,00	-582,80	2126,75	1677,99

Las ecuaciones que proporcionan el poder calorífico superior (PCS(H')) e inferior (PCI(H')) en función del contenido de humedad en base húmeda son:

Tabla 53.- Ecuaciones del poder calorífico (superior e inferior) (CEBADA).

Ecuaciones de poder calorífico	PCS (H') cal · g⁻¹	PCI (H') cal · g⁻¹
Restos de cebada	4253,49 – 42,54 · H'	3939,11 – 45,21 · H'

H' (%) = humedad en base húmeda.

5.2.2.- SECADO FORZADO.

En los ensayos de secado forzado se consideraron como factores de variación:

Tabla 54.- Factores de variación debidos a diferentes condiciones de secado en el secadero (CEBADA).

Factores	Código	Valor	
		<i>en tubo</i>	<i>en bandejas</i>
Velocidad del aire de entrada (V) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	V1	15	0,85
	V2	10	0,60
	V3	6	0,35
Temperatura del aire de entrada (T) ($^{\circ}\text{C}$)	T1	50	
	T2	45	
	T3	40	
Tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	
	t2	0,50	
	t3	0,25	

Tabla 55.- Factor de variación debido a diferentes condiciones del material introducido en el secadero (CEBADA).

Factor	Código	Valor
Humedad inicial del material introducido en el secadero(H)	H1	$H^{\circ} < 43\%$
	H2	$43\% \leq H^{\circ} \leq 53\%$
	H3	$H^{\circ} > 53\%$

Tabla 56.- Condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CEBADA).

Ensayos	n°	Condiciones reales del secadero de los ensayos				
		Fecha	V (m · s ⁻¹) en tubo	V (m · s ⁻¹) en bandejas)	T (°C)	t (h)
V1T1t1	1	24-feb-00	15,25	0,85	50,26	0,75
V1T1t2	2	7-mar-00	15,71	0,87	49,56	0,50
V1T1t3	3	23-sep-00	14,78	0,82	50,31	0,25
V1T2t1	4	16-feb-00	15,50	0,86	45,19	0,75
V1T2t2	5	23-feb-00	15,61	0,87	45,65	0,50
V1T2t3	6	24-feb-00	15,69	0,87	45,71	0,25
V1T3t1	7	22-feb-00	15,96	0,89	40,31	0,75
V1T3t2	8	23-sep-00	16,16	0,90	40,43	0,50
V1T3t3	9	23-sep-00	15,08	0,84	40,09	0,25
V2T1t1	10	24-ene-00	10,52	0,58	49,77	0,75
V2T1t2	11	20-sep-00	9,13	0,51	50,45	0,50
V2T1t3	12	15-feb-00	10,65	0,59	50,45	0,25
V2T2t1	13	17-ene-00	10,76	0,60	44,88	0,75
V2T2t2	14	25-ene-00	10,58	0,59	45,27	0,50
V2T2t3	15	20-sep-00	10,09	0,56	45,62	0,25
V2T3t1	16	17-ene-00	10,70	0,59	40,61	0,75
V2T3t2	17	25-ene-00	10,97	0,61	40,26	0,50
V2T3t3	18	20-sep-00	9,71	0,54	39,79	0,25
V3T1t1	19	17-ene-00	6,40	0,36	50,30	0,75
V3T1t2	20	22-sep-00	5,99	0,33	50,45	0,50
V3T1t3	21	15-feb-00	6,16	0,34	50,97	0,25
V3T2t1	22	21-sep-00	6,13	0,34	45,60	0,75
V3T2t2	23	21-sep-00	5,97	0,33	45,45	0,50
V3T2t3	24	22-sep-00	5,94	0,33	46,84	0,25
V3T3t1	25	24-ene-00	6,21	0,34	40,96	0,75
V3T3t2	26	20-ene-00	6,22	0,35	40,36	0,50
V3T3t3	27	21-sep-00	6,10	0,34	41,13	0,25

Tabla 57.-Medias de las condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CEBADA).

Velocidad real del aire de secado (m · s ⁻¹)				Media de la temperatura real del aire de secado (°C)		
Código	Media en el tubo	Media en bandejas	Desv.tip.	Código	Media	Desv.tip.
V1	15,53	0,86	0,43	T1	50,28	0,41
V2	10,35	0,57	0,59	T2	45,58	0,54
V3	6,12	0,34	0,15	T3	40,44	0,42

I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MATERIA.

Se presentan los resultados de los balances de agua que se elaboraron: g de agua a la entrada y a la salida del secadero (así como las pérdidas registradas) para cada ensayo.

Tabla 58.- Resultados de los Balances de materia (balances de agua) para cada uno de los ensayos (CEBADA).

Ensayos	n°	Balance de agua (g de agua)		
		ENTRADA	SALIDA	PÉRDIDAS
V1T1t1	1	5484,85	5485,08	-0,23
V1T1t2	2	4040,63	3960,82	79,81
V1T1t3	3	2016,93	1931,90	85,03
V1T2t1	4	5611,76	5402,65	209,11
V1T2t2	5	4504,73	4210,29	294,44
V1T2t3	6	1900,64	1743,49	157,15
V1T3t1	7	4840,25	4566,42	273,83
V1T3t2	8	4341,45	4336,38	5,07
V1T3t3	9	1974,60	1889,76	84,84
V2T1t1	10	3319,13	3183,53	135,60
V2T1t2	11	2632,30	2504,03	128,27
V2T1t3	12	2084,30	1580,44	503,86
V2T2t1	13	3702,01	3497,21	204,80
V2T2t2	14	2040,59	1957,53	83,06
V2T2t3	15	2000,63	1905,89	94,74
V2T3t1	16	3211,97	2904,34	307,63
V2T3t2	17	1976,81	1678,55	298,26
V2T3t3	18	1886,62	1685,75	200,87
V3T1t1	19	2578,14	2555,59	22,55
V3T1t2	20	2221,86	1974,64	247,22
V3T1t3	21	1449,56	1032,58	416,98
V3T2t1	22	2396,34	2235,04	161,30
V3T2t2	23	2048,41	1994,95	53,46
V3T2t3	24	1240,12	1134,32	105,80
V3T3t1	25	2097,80	1744,96	352,84
V3T3t2	26	2391,20	1758,20	633,00
V3T3t3	27	1103,56	926,65	176,91

Tabla 59.- Resultados de los balances de agua para cada uno de los factores de variación del secadero (CEBADA).

Condiciones de secado			Balance de agua (g de agua)			P/E*100 (%)
			ENTRADA (E)	SALIDA (S)	PERDIDAS (P)	
Velocidad del aire en la base de las bandejas (V) ($m \cdot s^{-1}$)	V1	0,85	3857,32	3725,20	132,12	3,43
	V2	0,60	2539,37	2321,92	217,45	8,56
	V3	0,35	1947,44	1706,33	241,12	12,38
Temperatura del aire (T) ($^{\circ}C$)	T1	50	2869,74	2689,85	179,90	6,27
	T2	45	2827,25	2675,71	151,54	5,36
	T3	40	2647,14	2387,89	259,25	9,79
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	3693,58	3508,31	185,27	5,02
	t2	0,50	2910,89	2708,38	202,51	6,96
	t3	0,25	1739,66	1536,75	202,91	11,66

Como se puede observar en la Tabla anterior, la relación entre los g de agua perdidos y los g de agua que entran en el secadero es mayor para V3, T3 y t3, lo que sugiere que las pérdidas se hacen mayores cuando se trabaja con bajas velocidades de aire, bajas temperaturas y en cortos períodos de tiempo.

II.- ESTUDIO DEL SECADO FORZADO: EFECTO DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN.

Durante los ensayos de secado forzado se tomaron los siguientes datos:

Tabla 60.- Resultados del secado forzado (CEBADA)³.

Ensayo	n°	Humedad Inicial		Humedad Final		°H	Ph inicial (kg)	Ph final (kg)	Pa (kg) Peso de agua rebajado	Ps (kg)
		H'(b.h.) %	H(b.s.) %	H'(b.h.) %	H(b.s.) %					
V1T1t1	1	64,02	177,93	8,33	9,09	55,69	0,984	0,386	0,598	0,354
V1T1t2	2	51,36	105,59	20,93	26,47	30,43	1,476	0,908	0,568	0,718
V1T1t3	3	34,06	51,65	4,28	4,47	29,78	0,922	0,635	0,287	0,608
V1T2t1	4	66,19	195,77	7,78	8,44	58,41	1,183	0,434	0,749	0,400
V1T2t2	5	52,20	109,21	13,56	15,69	38,64	1,113	0,615	0,498	0,532
V1T2t3	6	43,39	76,65	8,14	8,86	35,25	0,961	0,592	0,369	0,544
V1T3t1	7	64,91	184,98	9,85	10,93	55,06	1,083	0,421	0,662	0,380
V1T3t2	8	45,87	84,74	20,41	25,64	25,46	1,428	0,971	0,457	0,773
V1T3t3	9	35,79	55,74	22,10	28,37	13,69	1,070	0,882	0,188	0,687
V2T1t1	10	51,22	105,00	4,84	5,09	46,38	1,312	0,673	0,639	0,640
V2T1t2	11	39,62	65,62	5,13	5,41	34,49	1,224	0,779	0,445	0,739
V2T1t3	12	57,33	134,36	20,75	26,18	36,58	1,828	0,984	0,844	0,780
V2T2t1	13	52,04	108,51	9,83	10,90	42,21	1,839	0,978	0,861	0,882
V2T2t2	14	33,17	49,63	2,19	2,24	30,98	1,423	0,972	0,451	0,951
V2T2t3	15	67,04	203,40	47,53	90,59	19,51	1,259	0,791	0,468	0,415
V2T3t1	16	50,71	102,88	10,48	11,71	40,23	1,757	0,967	0,790	0,866
V2T3t2	17	35,57	55,21	2,98	3,07	32,59	1,552	1,031	0,521	1,000
V2T3t3	18	61,28	158,26	37,12	59,03	24,16	1,552	0,956	0,596	0,601
V3T1t1	19	36,28	56,94	11,44	12,92	24,84	2,238	1,610	0,628	1,426
V3T1t2	20	54,96	122,02	20,90	26,42	34,06	1,523	0,867	0,656	0,686
V3T1t3	21	43,44	76,80	17,72	21,54	25,72	2,021	1,389	0,632	1,143
V3T2t1	22	42,82	74,89	3,91	4,07	38,91	1,142	0,680	0,462	0,653
V3T2t2	23	52,20	109,21	28,24	39,35	23,96	1,406	0,937	0,469	0,672
V3T2t3	24	48,19	93,01	25,57	34,35	22,62	1,523	1,060	0,463	0,789
V3T3t1	25	43,00	75,44	14,73	17,27	28,27	2,279	1,523	0,756	1,299
V3T3t2	26	52,36	109,91	28,24	39,35	24,12	3,088	2,050	1,038	1,471
V3T3t3	27	47,33	89,86	24,89	33,14	22,44	1,160	0,814	0,346	0,611

³ H' (b.h.) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base húmeda.

H (b.s.) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base seca.

°H = Puntos de humedad reducidos en cada ensayo de secado forzado.

Ph (kg) = Peso húmedo (inicial y final) del material introducido en cada ensayo correspondiente.

Pa (kg) = Peso de agua rebajado en cada ensayo de secado forzado.

Ps (kg) = Peso seco del material introducido en cada ensayo.

a.- Efecto de H sobre el descenso de humedad:

Se estudió aquí el efecto de la humedad inicial de entrada del material introducido en el secadero (H) sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos) independientemente de las condiciones de secado del secadero:

Tabla 61.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la humedad inicial del material introducido (CEBADA).

Exp. Elem. n = 3	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%)									Total	Media
	r=9										
H1	29,78	35,25	13,69	34,49	30,98	32,59	24,84	38,91	28,27	268,80	29,87
H2	30,43	38,64	25,46	46,38	42,21	40,23	25,72	22,62	22,44	294,13	32,68
H3	55,69	58,41	55,06	36,58	19,51	24,16	34,06	23,96	24,12	331,55	36,84
										894,48	33,13
										Tg	Mg

Tabla 62- Análisis de Varianza: Experimento Elemental (H) (CEBADA).

$$C = 29633,13$$

Fuente variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	3283,65				
Exp.Elem (H)	2	221,46	110,73	0,87ns	3,49	5,95
Error	24	3062,19	127,59			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

No existe una diferencia significativa entre las medias de los experimentos elementales lo que hace pensar que no existe un efecto real de la humedad inicial del material, a los niveles estudiados, sobre la respuesta: los puntos de humedad reducidos en cada ensayo.

b.- Efecto de (V, T y t) sobre el descenso de humedad:

Se estudió aquí el efecto de los tres factores de variación derivados de las distintas condiciones de secado del secadero: velocidad (V) y temperatura (T) del aire de entrada y tiempo de residencia (t) sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos) independientemente de la humedad inicial del material introducido:

A.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Velocidades y tres Temperaturas distintas del aire de entrada.

Bloques: tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Tabla 63.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (VT) y el bloque (t) considerado (CEBADA).

Tratamientos		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		t1	t2	t3		
A	V1T1	55,69	30,43	29,78	115,90	38,63
B	V1T2	58,41	38,64	35,25	132,30	44,10
C	V1T3	55,06	25,46	13,69	94,21	31,40
D	V2T1	46,38	34,49	36,58	117,45	39,15
E	V2T2	42,21	30,98	19,51	92,70	30,90
F	V2T3	40,23	32,59	24,16	96,98	32,33
G	V3T1	24,84	34,06	25,72	84,62	28,21
H	V3T2	38,91	23,96	22,62	85,49	28,50
I	V3T3	28,27	24,12	22,44	74,83	24,94
Total Bloque	Tb	390,00	274,73	229,75	894,48	
Media Bloque	Xb	43,33	30,53	25,53		33,13

Tabla 64.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (VT) y Bloques (t) (CEBADA).

Análisis de Varianza C = 29633,13

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	3283,65				
Bloques (t)	2	1518,16	759,08	14,44**	3,63	6,23
Tratamientos (V,T)	8	924,59	115,57	2,20ns	2,59	3,89
Error	16	840,89	52,56			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	924,59	115,57	2,20ns		
V	2	541,21	270,61	5,15*	3,63	6,23
T	2	175,27	87,64	1,67ns	3,63	6,23
VxT	4	208,11	52,03	0,99ns	3,01	4,77
Error	16	840,89	52,56			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existen diferencias altamente significativas ($pr < 1\%$) debidas a los bloques, es decir, se puede esperar un efecto real del tiempo de residencia sobre la respuesta.

Las diferencias entre las medias de los tratamientos no resultaron significativas pero sin embargo si se hace la separación de medias se observan unas diferencias significativas ($pr. < 5\%$) entre las medias de los ensayos realizados con diferente velocidad.

No existe, sin embargo, un efecto real de la temperatura de secado, a los niveles estudiados, ni de la interacción entre la velocidad y la temperatura de secado.

B.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Velocidades del aire de secado y tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Bloques: tres Temperaturas distintas del aire de entrada.

Tabla 65.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Vt) y el bloque (T) considerado (CEBADA).

Tratamiento		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		T1	T2	T3		
A	V1t1	55,69	58,41	55,06	169,16	56,39
B	V1t2	30,43	38,64	25,46	94,53	31,51
C	V1t3	29,78	35,25	13,69	78,72	26,24
D	V2t1	46,38	42,21	40,23	128,82	42,94
E	V2t2	34,49	30,98	32,59	98,06	32,69
F	V2t3	36,58	19,51	24,16	80,25	26,75
G	V3t1	24,84	38,91	28,27	92,02	30,67
H	V3t2	34,06	23,96	24,12	82,14	27,38
I	V3t3	25,72	22,62	22,44	70,78	23,59
Total Bloque	Tb	317,97	310,49	266,02	894,48	
Media Bloque	Xb	35,33	34,50	29,56		33,13

Tabla 66.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Vt) y Bloques (T) (CEBADA).

Análisis de Varianza C = 29633,13

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	3283,65				
Bloques (T)	2	175,27	87,64	2,63ns	3,63	6,23
Tratamientos (V,t)	8	2574,46	321,81	9,64**	2,59	3,89
Error	16	533,92	33,37			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	2574,46	321,81	9,64**		
V	2	800,01	400,00	11,99**	3,63	6,23
t	2	1776,96	888,48	26,63**	3,63	6,23
Vxt	4	256,28	64,07	1,92ns	3,01	4,77
Error	16	533,92	33,37			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Los bloques presentan diferencias no significativas pero con un F observado de 2,63 no se debe afirmar rotundamente que no exista un efecto real de la temperatura de secado sobre la respuesta.

Los tratamientos presentan diferencias altamente significativas (pr. < 1%) entre las medias, haciendo la separación de éstas se puede observar que estas diferencias son debidas al efecto que produce sobre la respuesta tanto la velocidad de secado como el tiempo de residencia del material.

La interacción de estos dos factores produce diferencias no significativas.

C.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Temperaturas distintas del aire de entrada y tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Bloques:. tres Velocidades del aire de secado.

Tabla 67.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Tt) y el bloque (V) considerado (CEBADA).

Tratamiento		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		V1	V2	V3		
A	T1t1	55,69	46,38	24,84	126,91	42,30
B	T1t2	30,43	34,49	34,06	98,98	32,99
C	T1t3	29,78	36,58	25,72	92,08	30,69
D	T2t1	58,41	42,21	38,91	139,53	46,51
E	T2t2	38,64	30,98	23,96	93,58	31,19
F	T2t3	35,25	19,51	22,62	77,38	25,79
G	T3t1	55,06	40,23	28,27	123,56	41,19
H	T3t2	25,46	32,59	24,12	82,17	27,39
I	T3t3	13,69	24,16	22,44	60,29	20,10
Total Bloque	Tb	342,41	307,13	244,94	894,48	
Media Bloque	Xb	38,05	34,13	27,22		33,13

Tabla 68.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Tt) y Bloques (V) (CEBADA).

Análisis de Varianza C= 29633,13

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	3283,65				
Bloques (V)	2	541,21	270,61	4,51*	3,63	6,23
Tratamientos (T,t)	8	1783,30	222,91	3,72*	2,59	3,89
Error	16	959,14	59,95			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	1783,30	222,91	3,72*		
T	2	175,27	87,64	1,46ns	3,63	6,23
t	2	1518,16	759,08	12,66**	3,63	6,23
Txt	4	89,86	22,47	0,37ns	3,01	4,77
Error	16	959,14	59,95			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existen diferencias significativas ($pr < 5\%$) debidas a los bloques, es decir, se puede esperar un efecto real de la velocidad de secado sobre la respuesta.

Las diferencias entre las medias de los tratamientos resultaron significativas ($pr < 5\%$). Si se hace la separación se observan diferencias altamente significativas ($pr < 1\%$) entre las medias de los ensayos realizados con distinto tiempo de residencia y no significativas para la temperatura de secado.

No existe, sin embargo, un efecto real de la interacción entre el tiempo de residencia y la temperatura de secado.

En el Anexo III, se presentan las curvas de secado en las que se muestra la variación de la humedad (H' y H) a lo largo del tiempo de secado para cada ensayo:

Curva: “Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: H' y H en %; abscisas: t (min).

5.2.3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO.

I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.

Se muestran los resultados de los balances de energía que se elaboraron posteriormente a los ensayos de secado:

Tabla 69.- Resultados de los Balances de energía para cada uno de los ensayos (CEBADA).

Ensayo	n°	Energía (cal · g ⁻¹)				
		Entrada E	Salida S	Aportada A	Utilizada U = E+A-S	Reutilizable R=S-E
V1T1t1	1	26989,37	27947,17	13429,56	12471,76	957,80
V1T1t2	2	9018,86	9378,18	3850,93	3491,61	359,32
V1T1t3	3	5218,42	5572,43	2132,20	1778,19	354,01
V1T2t1	4	22418,82	23211,06	10793,66	10001,42	792,24
V1T2t2	5	12151,20	12588,11	4713,27	4276,36	436,91
V1T2t3	6	5458,22	5649,20	2700,94	2509,96	190,98
V1T3t1	7	21229,19	21378,93	7967,72	7817,98	149,74
V1T3t2	8	7747,78	8277,47	2124,17	1594,48	529,69
V1T3t3	9	3940,55	4153,11	1006,00	793,44	212,56
V2T1t1	10	9595,69	10192,96	5531,31	4934,04	597,27
V2T1t2	11	5348,62	5608,22	2805,81	2546,21	259,60
V2T1t3	12	2806,95	3201,97	1329,54	934,52	395,02
V2T2t1	13	6630,45	7091,22	3723,03	3262,26	460,77
V2T2t2	14	3916,03	4172,82	2181,10	1924,31	256,79
V2T2t3	15	4896,66	5178,45	1665,39	1383,60	281,79
V2T3t1	16	5976,36	6312,60	3393,49	3057,25	336,24
V2T3t2	17	3423,04	3676,38	1813,90	1560,56	253,34
V2T3t3	18	2812,01	3186,03	1030,53	656,51	374,02
V3T1t1	19	2712,18	2895,18	1635,90	1452,90	183,00
V3T1t2	20	3770,55	4095,30	1763,79	1439,04	324,75
V3T1t3	21	1107,66	1350,12	680,39	437,93	242,46
V3T2t1	22	5471,56	6156,42	2512,35	1827,49	684,86
V3T2t2	23	3521,19	3883,18	1541,96	1179,97	361,99
V3T2t3	24	1421,12	1690,82	985,60	715,90	269,70
V3T3t1	25	2229,66	2594,71	1397,13	1032,08	365,05
V3T3t2	26	1319,91	1551,63	880,99	649,27	231,72
V3T3t3	27	1746,45	1977,87	706,58	475,16	231,42

NOTA: E = energía en la Entrada; S = energía en la Salida; A = energía Aportada; U = energía Utilizada en el secado; R = energía “Reutilizable”.

La energía a la entrada (E) del secadero que es la contenida en el aire debido a su temperatura, en el “agua” del aire (debido a la humedad y a la temperatura de éste), en

el sólido debido a su temperatura y en el “agua” del sólido (debido a la humedad y a la temperatura de éste).

La energía en la salida (S) del secadero que es la contenida en el aire debido a su temperatura, en el “agua” del aire (debido a la humedad y la temperatura de éste), en el sólido debido a su temperatura y en el “agua” del sólido (debido a la humedad y la temperatura de éste).

La energía Aportada (A) que es la debida al uso del ventilador para impulsar el aire y a las resistencias eléctricas para elevar la temperatura del mismo, esta energía se introduce en el secadero externamente.

Se hace notar que la energía que entra en el secadero (no incluyendo la aportada externamente) es menor que la energía que sale debido a que, de la energía que se aporta, parte es Utilizada para el secado (U) y parte para el incremento que se produce en la salida que pudiera llegar a ser reutilizable, de ahí su nombre (R).

Tabla 70.- Resultados de los balances de energía para cada uno de los factores de variación del secadero (CEBADA).

Condiciones de secado			Energía (cal · g ⁻¹)				
			Entrada E	Salida S	Aportada A	Utilizada U = E+A-S	Reutilizable R=S-E
Velocidad del aire (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	12685,82	13128,41	5413,16	4970,58	442,58
	V2	0,60	5045,09	5402,29	2608,23	2251,03	357,20
	V3	0,35	2588,92	2910,58	1344,97	1023,30	321,66
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	7396,48	7804,61	3684,38	3276,25	408,14
	T2	45	7320,58	7735,70	3424,14	3009,03	415,11
	T3	40	5602,77	5900,97	2257,83	1959,64	298,20
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	11472,59	11975,58	5598,24	5095,24	503,00
	t2	0,50	5579,69	5914,59	2408,43	2073,53	334,90
	t3	0,25	3267,56	3551,11	1359,69	1076,14	283,55

NOTA: E = energía en la Entrada; S = energía en la Salida; A = energía Aportada; U = energía Utilizada en el secado; R = energía “Reutilizable”.

Como se puede observar en la Tabla anterior, es cuando se utiliza una mayor velocidad de aire (V1), una temperatura media (T2) y en los ensayos más largos (t1) cuando se tiene una mayor energía perdida o en su caso reutilizable.

II.- ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SECADO FORZADO

Tabla 71.- Incremento en el poder calorífico y energía Aportada en el secado forzado (CEBADA)⁴.

Ensayo	nº	PCS (cal · g ⁻¹) inicial	PCS (cal · g ⁻¹) final	Incremento en el Poder calorífico con el secado (cal · g ⁻¹)	Energía Aportada en el secado (cal · g ⁻¹)
V1T1t1	1	1530,22	3900,87	2370,65	13429,56
V1T1t2	2	2069,11	3363,44	1294,33	3850,93
V1T1t3	3	2804,90	4072,63	1267,73	2132,20
V1T2t1	4	1438,20	3920,27	2482,07	10793,66
V1T2t2	5	2033,11	3679,44	1646,33	4713,27
V1T2t3	6	2407,80	3908,61	1500,81	2700,94
V1T3t1	7	1492,45	3839,25	2346,80	7967,72
V1T3t2	8	2302,48	3386,15	1083,67	2124,17
V1T3t3	9	2730,98	3313,09	582,11	1006,00
V2T1t1	10	2074,87	4044,92	1970,05	5531,31
V2T1t2	11	2568,08	4035,08	1467,00	2805,81
V2T1t3	12	1814,95	3371,67	1556,72	1329,54
V2T2t1	13	2040,01	3835,97	1795,96	3723,03
V2T2t2	14	2842,63	4161,59	1318,96	2181,10
V2T2t3	15	1402,06	2231,60	829,54	1665,39
V2T3t1	16	2096,48	3809,23	1712,75	3393,49
V2T3t2	17	2740,65	4125,60	1384,95	1813,90
V2T3t3	18	1647,13	2676,80	1029,67	1030,53
V3T1t1	19	2710,22	3767,38	1057,16	1635,90
V3T1t2	20	1915,89	3365,51	1449,62	1763,79
V3T1t3	21	2405,61	3500,17	1094,56	680,39
V3T2t1	22	2432,16	4084,60	1652,44	2512,35
V3T2t2	23	2032,96	3050,53	1017,57	1541,96
V3T2t3	24	2199,10	3159,65	960,55	985,60
V3T3t1	25	2424,43	3627,89	1203,46	1397,13
V3T3t2	26	2026,19	3052,14	1025,95	880,99
V3T3t3	27	2235,90	3186,29	950,39	706,58

El mayor incremento en el poder calorífico debido al secado forzado, es decir, el mayor incremento en cal · g⁻¹ se produce en el ensayo V1T2t1, siendo ésta de 2482,07 cal · g⁻¹, lógicamente es el ensayo donde mayor puntos de humedad se redujeron.

El menor incremento en el poder calorífico se produjo en el ensayo en que menos puntos de humedad se redujeron: V1T3t3 con un incremento de 582,11 cal · g⁻¹.

⁴ PCS (cal · g⁻¹) = Poder calorífico Superior (al iniciar y al finalizar el secado) del material.
Incremento en el Poder Calorífico (debido al descenso de humedad del material).
Energía Aportada en el secado (cal · g⁻¹).

El mayor aporte energético en los diferentes ensayos de secado varía en un intervalo que va desde 13429,56 cal · g⁻¹ para el ensayo V1T1t1 (coincide con el ensayo de mayor incremento energético) hasta un valor de 680,39 cal · g⁻¹ para el ensayo V3T1t3.

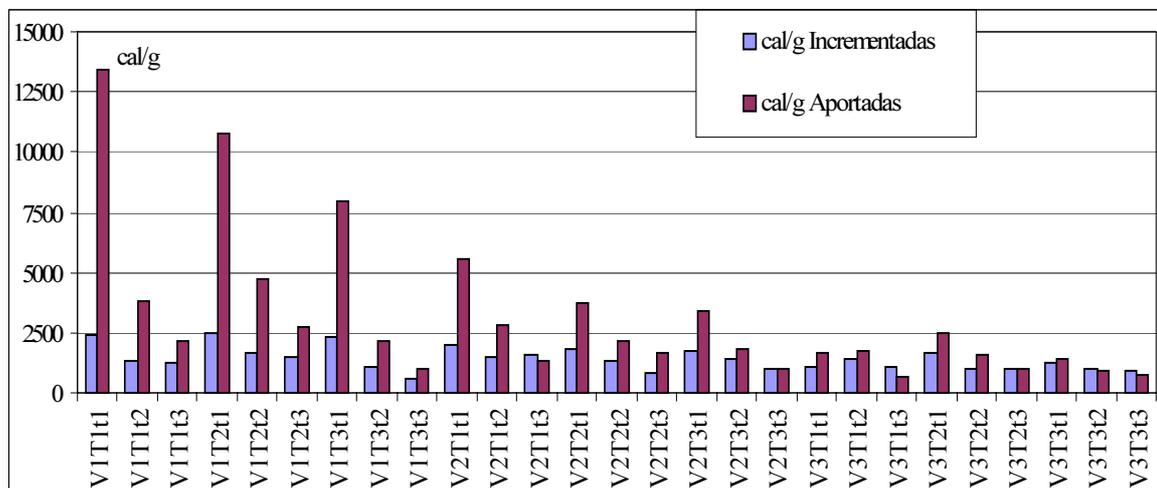


Figura 8.- Gráfico de barras donde se muestra la energía Aportada ($cal \cdot g^{-1}$) durante el secado y el incremento en el Poder Calorífico Superior ($cal \cdot g^{-1}$) durante el mismo, para cada ensayo (CEBADA).

Se compara la energía aportada durante el secado con el incremento que se produce en el poder calorífico del material debido a su reducción de humedad, es decir:

- Ratio incremento/aporte de energía.

Los ensayos que se pueden llamar "satisfactorios" son aquellos en que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad, es decir el ratio incremento/aporte de energía ($cal \cdot g^{-1}$ incrementadas/ $cal \cdot g^{-1}$ aportadas) es mayor de 1 (Tabla 72):

Tabla 72.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada ensayo de secado (CEBADA).

Ensayo	n°	Ratio incremento/aporte de energía (cal · g ⁻¹ incrementadas/cal · g ⁻¹ aportadas)
V1T1t1	1	0,18
V1T1t2	2	0,34
V1T1t3	3	0,59
V1T2t1	4	0,23
V1T2t2	5	0,35
V1T2t3	6	0,56
V1T3t1	7	0,29
V1T3t2	8	0,51
V1T3t3	9	0,58
V2T1t1	10	0,36
V2T1t2	11	0,52
V2T1t3	12*	1,17
V2T2t1	13	0,48
V2T2t2	14	0,60
V2T2t3	15	0,50
V2T3t1	16	0,50
V2T3t2	17	0,76
V2T3t3	18	0,99
V3T1t1	19	0,65
V3T1t2	20	0,82
V3T1t3	21*	1,61
V3T2t1	22	0,66
V3T2t2	23	0,66
V3T2t3	24	0,97
V3T3t1	25	0,86
V3T3t2	26*	1,16
V3T3t3	27*	1,35

NOTA: el * indica los ensayos considerados como "satisfactorios" en los que la energía incrementada es mayor que la energía consumida.

Tabla 73.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).

Condiciones de secado			Ratio incremento/aporte de energía (cal · g ⁻¹ incrementadas/cal · g ⁻¹ aportadas)
Velocidad del aire (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	0,40
	V2	0,60	0,66
	V3	0,35	0,97
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	0,69
	T2	45	0,56
	T3	40	0,78
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	0,47
	t2	0,50	0,64
	t3	0,25	0,93

Se puede observar en la Tabla anterior que si se hacen las medias de los ratios Incremento/aporte de energía para cada uno de los factores de variación del secadero, no son mayor de 1 para ninguno de ellos.

Por otra parte el poder calorífico superior para estos restos de cebada era:

$$PCS(H') = 4253,49 - 42,54 \cdot H' \quad (\text{Ec } 2)$$

Según esta expresión, por cada punto que se reduzca la humedad del material el poder calorífico se incrementa en 42,54 cal · g⁻¹, por lo tanto el aporte energético en el secado no deberá ser mayor a este valor, es decir, por cada punto de humedad reducido no deberá consumirse más de 49,23 Wh · kg⁻¹.

Si se observa la Tabla 74, se tiene que, dentro de los ensayos llamados "satisfactorios" (en los que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad) el máximo aporte de energía por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida en el secadero es efectivamente siempre menor a 49,23 Wh · kg⁻¹.

Tabla 74.- Energía total aportada y energía aportada por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida (CEBADA).

Ensayo	n°	Energía aportada (kWh)	Wh/°H · Ps (Wh · kg ⁻¹)
V1T1t1	1	5,5	279,11
V1T1t2	2	3,2	146,47
V1T1t3	3	1,5	82,87
V1T2t1	4	5,0	213,88
V1T2t2	5	2,9	141,18
V1T2t3	6	1,7	88,68
V1T3t1	7	3,5	167,49
V1T3t2	8	1,9	96,56
V1T3t3	9	0,8	85,05
V2T1t1	10	4,1	138,03
V2T1t2	11	2,4	94,16
V2T1t3	12*	1,2	42,07
V2T2t1	13	3,8	102,09
V2T2t2	14	2,4	81,49
V2T2t3	15	0,8	98,80
V2T3t1	16	3,4	97,63
V2T3t2	17	2,1	64,42
V2T3t3	18	0,7	49,37
V3T1t1	19	2,7	76,22
V3T1t2	20	1,4	59,94
V3T1t3	21*	0,9	30,62
V3T2t1	22	1,9	74,73
V3T2t2	23	1,2	74,49
V3T2t3	24	0,9	50,43
V3T3t1	25	2,1	57,20
V3T3t2	26*	1,5	42,27
V3T3t3	27*	0,5	36,44

NOTA: el * indica los ensayos considerados como "satisfactorios" en los que la energía incrementada es mayor que la energía aportada.

Las curvas que se presentan a continuación reflejan, para cada ensayo, el incremento de poder calorífico superior (debido al descenso de humedad) con respecto al aporte energético necesario durante el secado.

Se observará en ellas que en algunos ensayos desde el principio la energía aportada crece con mayor pendiente que el poder calorífico, eso significará que en ningún momento del secado es rentable.

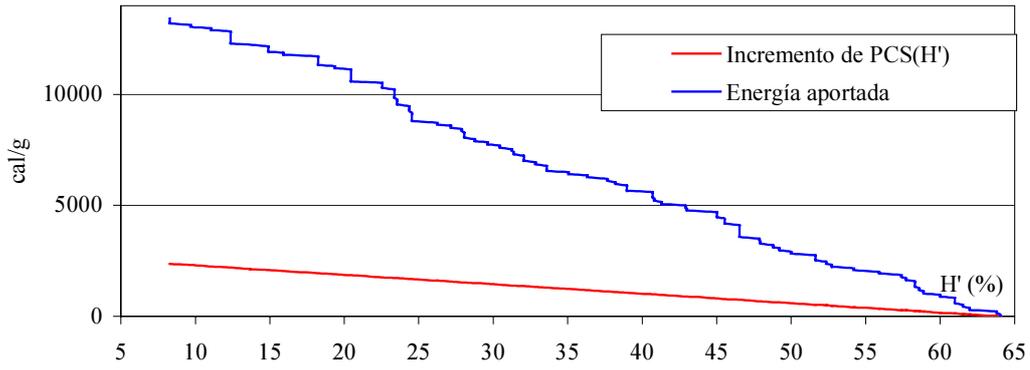
En otras curvas, el aporte energético crece con menor pendiente que el poder calorífico, en un principio, para después sobrepasarlo y dispararse, eso significará que sólo al comienzo del secado se puede conseguir que éste sea rentable energéticamente.

En otros ensayos el aporte energético crece con menor pendiente que el poder calorífico durante todo el secado, éstos serán los ensayos energéticamente rentables, pues el incremento en el poder calorífico es en todo momento superior al consumo.

Aparte se elaboraron una serie de curvas que se describen a continuación y se presentan en el Anexo IV:

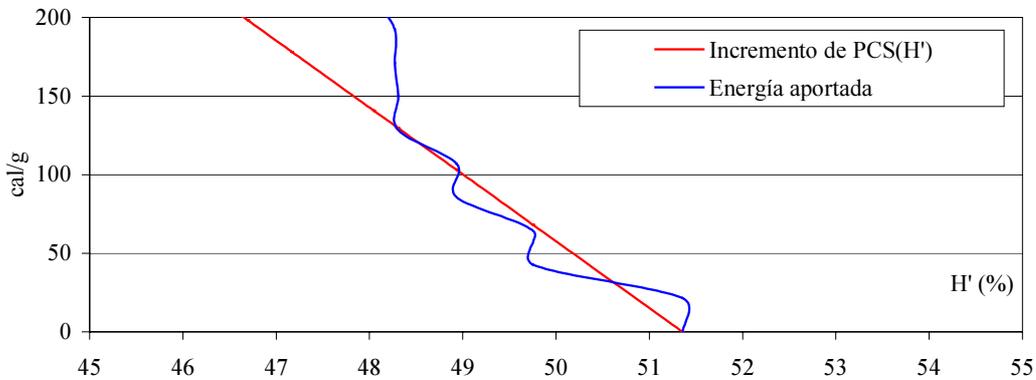
- d) Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función del tiempo de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: t (min).*
- e) Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función de la humedad reducida en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' en %.*
- f) Curva: “Poder calorífico del material ($\text{PCS}(H')$ en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) y energía aportada para su secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' en %*

V1T1t1



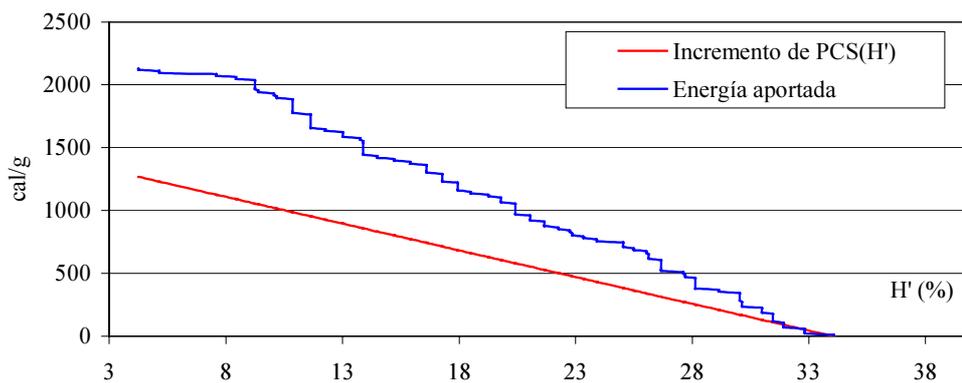
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T1t2



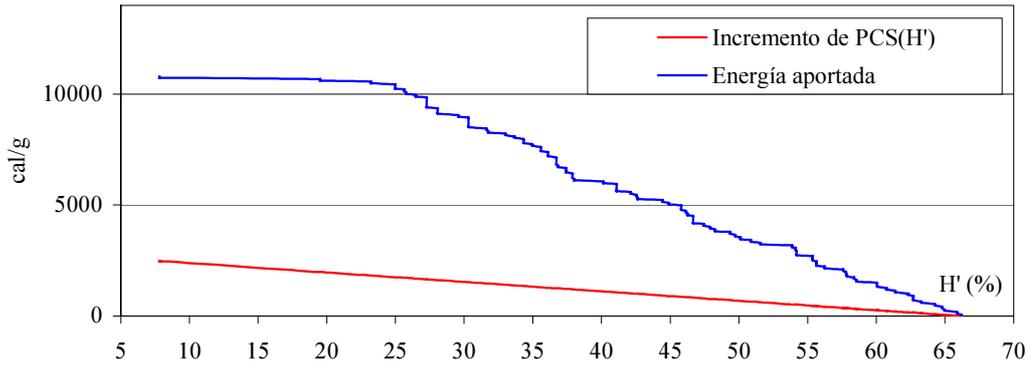
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	48,31	
H (%)	93,46	3,05

V1T1t3



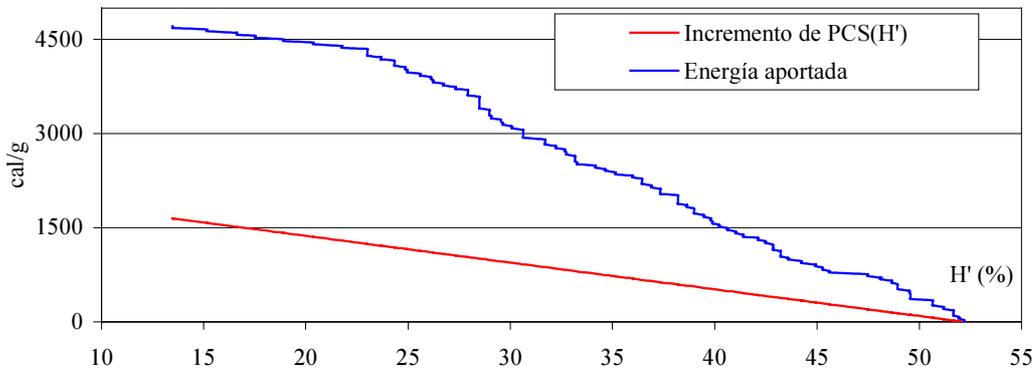
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T2t1



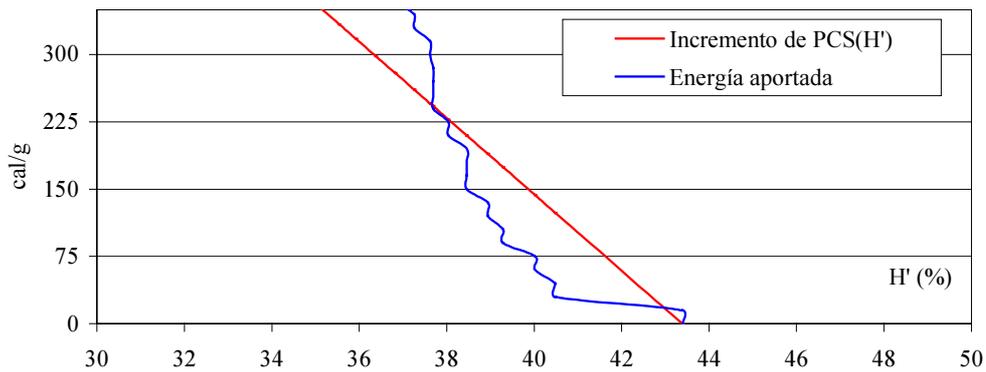
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T2t2



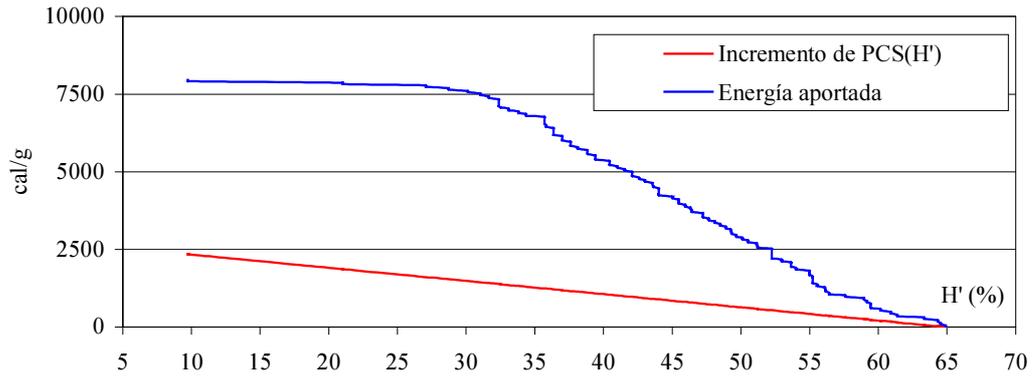
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T2t3



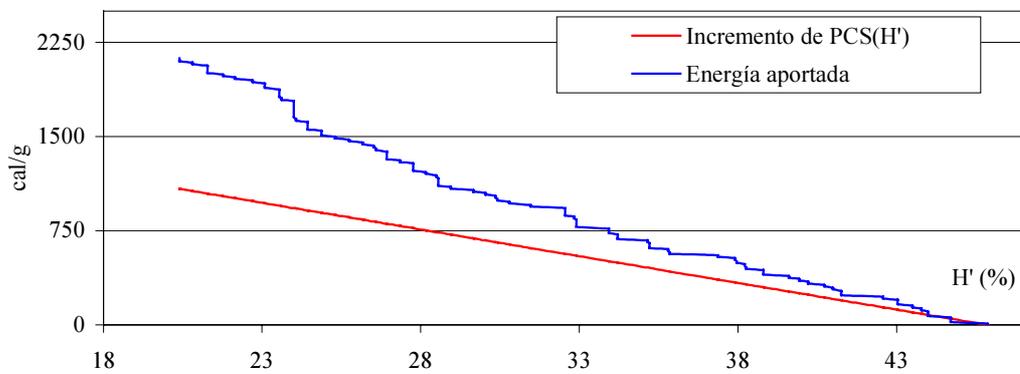
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	37,69	
H (%)	60,49	5,70

V1T3t1



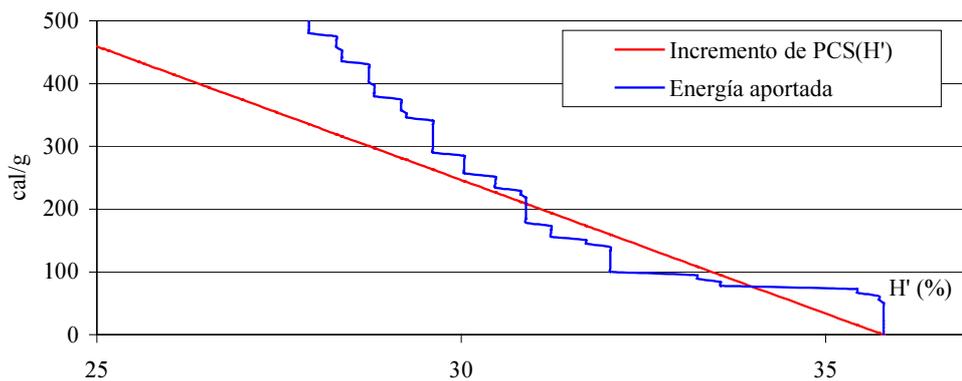
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T3t2



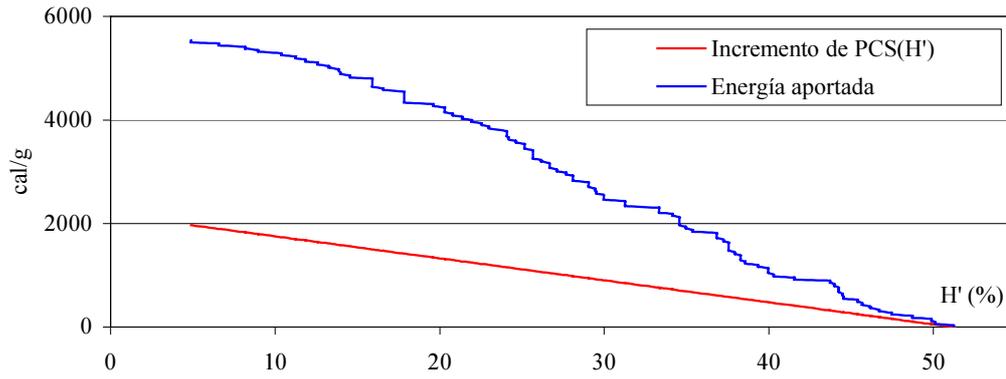
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T3t3



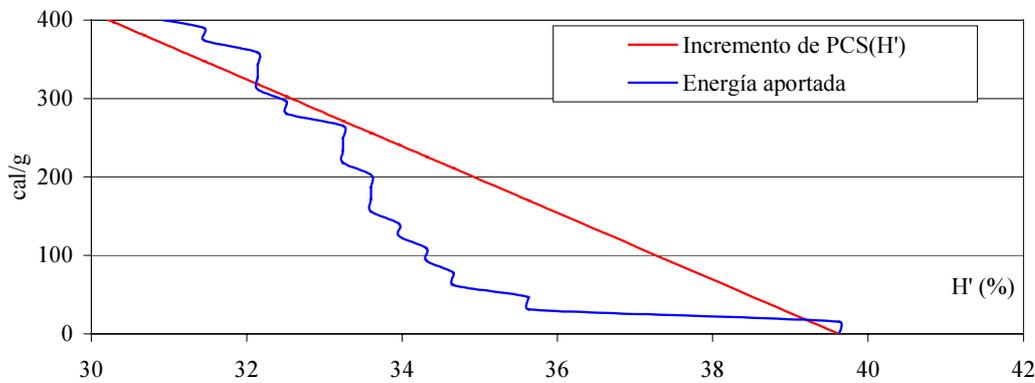
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	30,89	
H (%)	44,70	4,90

V2T1t1



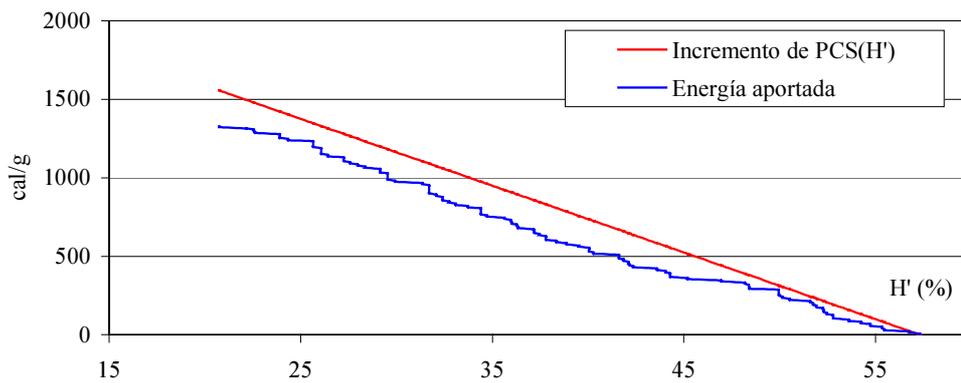
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V2T1t2



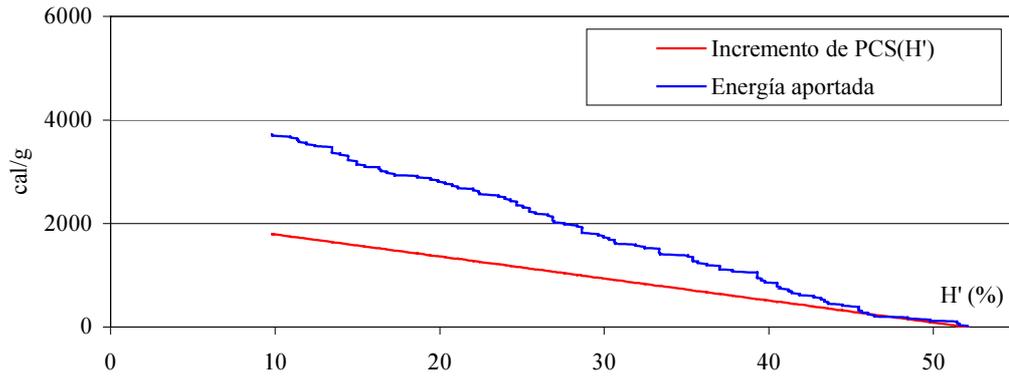
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	32,14	
H (%)	47,36	7,48

V2T1t3



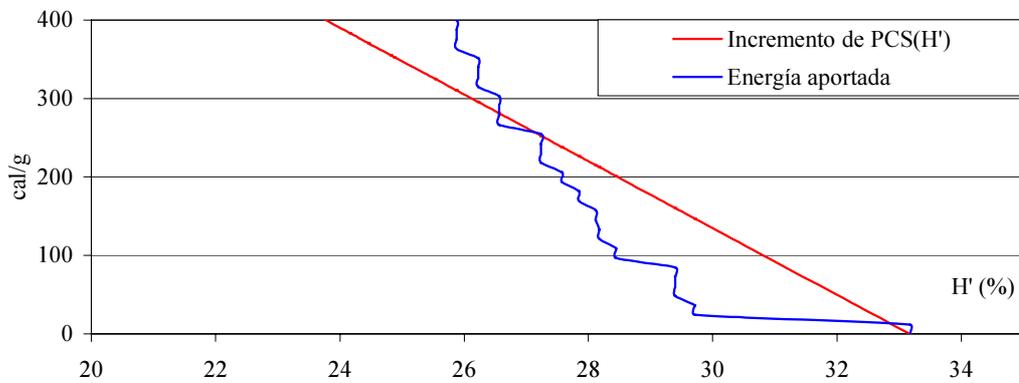
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	20,75	
H (%)	26,18	36,58

V2T2t1



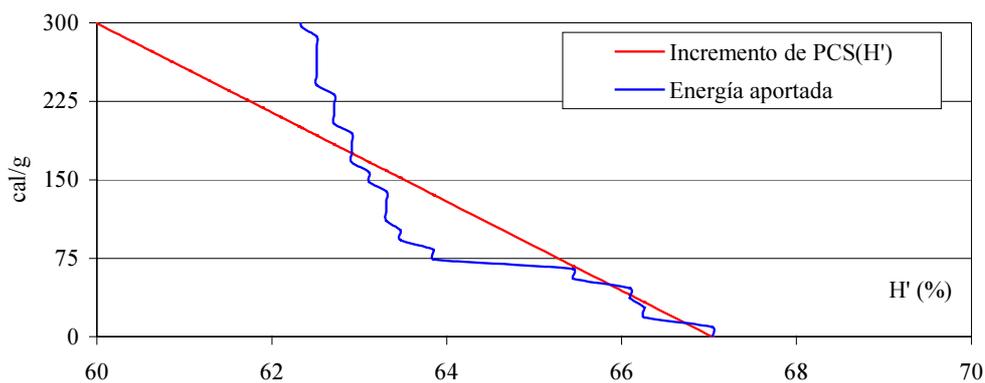
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V2T2t2



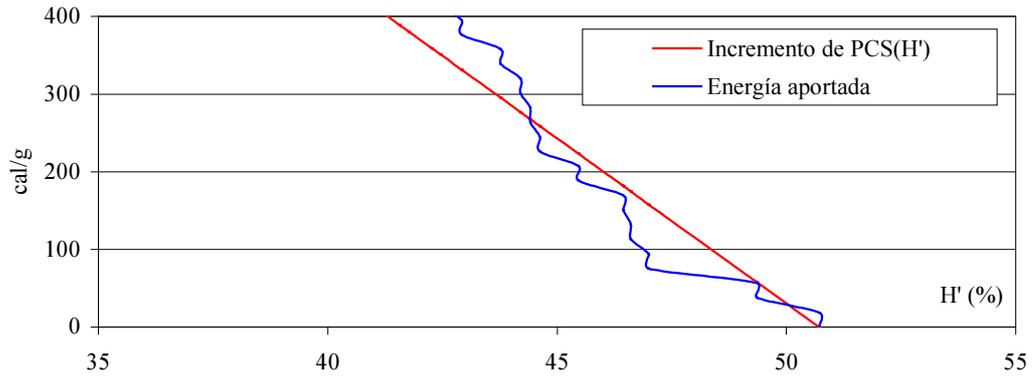
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	27,24	
H (%)	37,44	5,93

V2T2t3



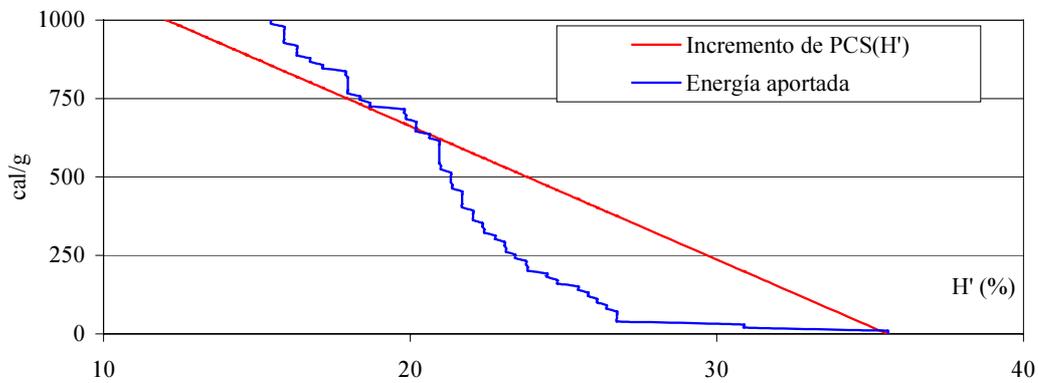
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	62,91	
H (%)	169,61	4,13

V2T3t1



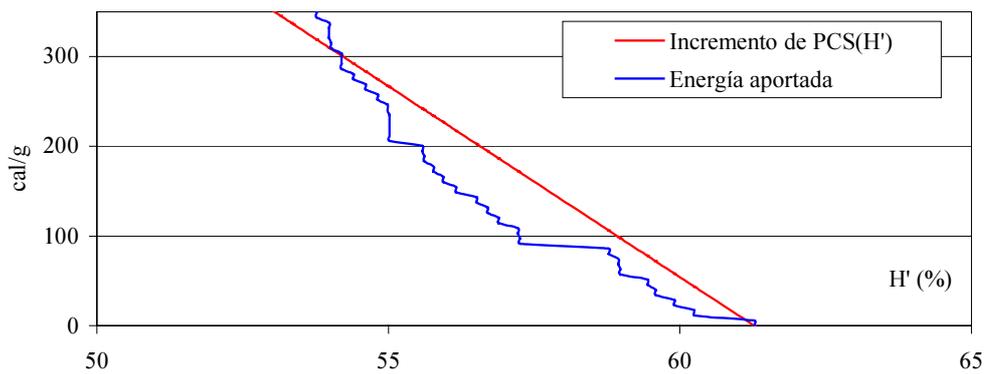
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%) 44,42		
H (%) 79,92	6,29	3,50

V2T3t2



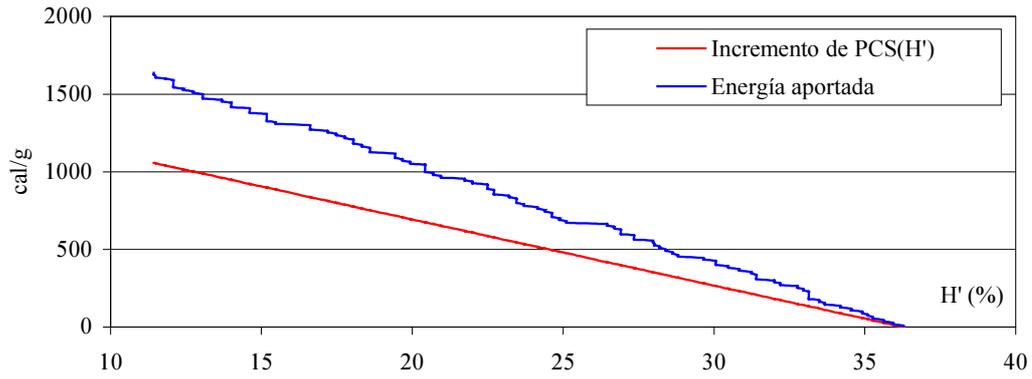
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%) 20,19		
H (%) 25,30	15,38	10,67

V2T3t3



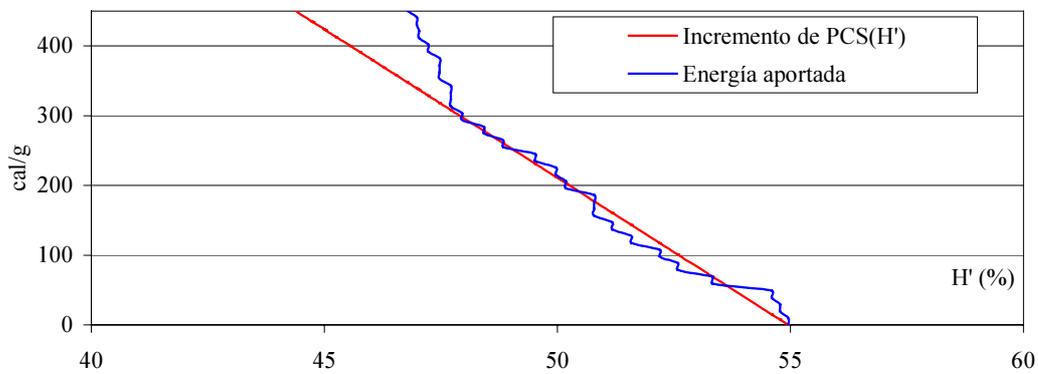
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%) 54,19		
H (%) 118,29	7,09	4,33

V3T1t1



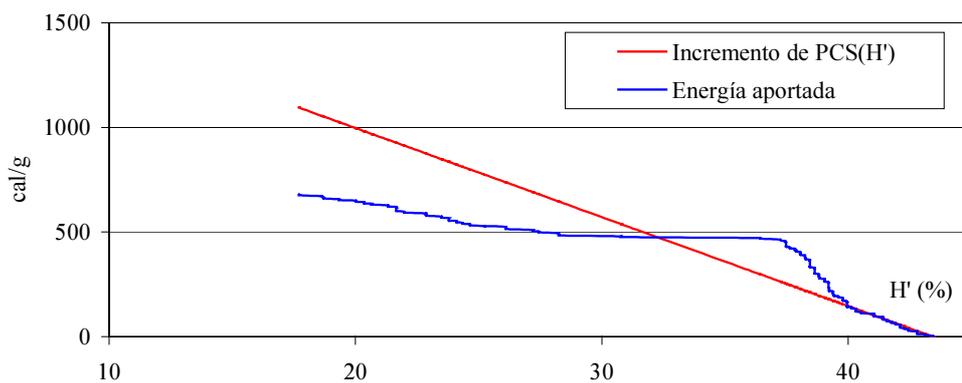
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V3T1t2



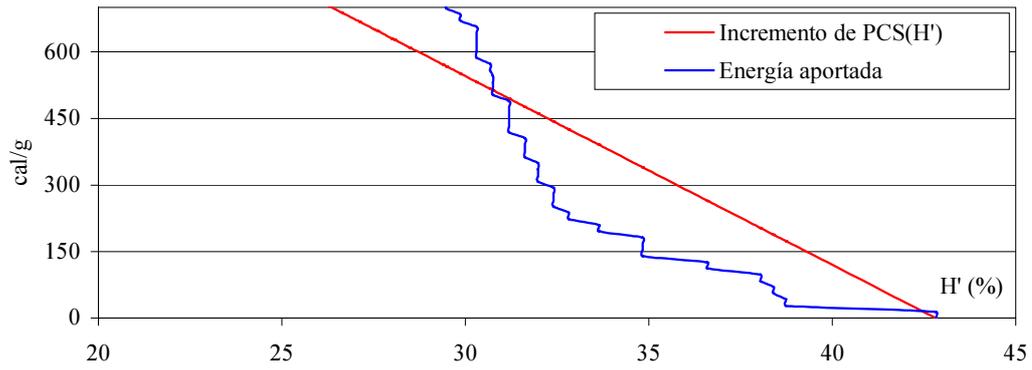
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	48,42	
H (%)	93,87	6,54

V3T1t3



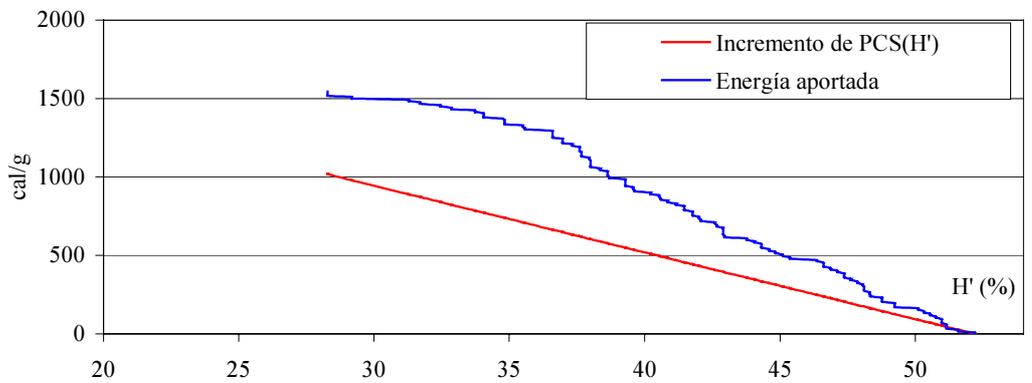
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	17,72	
H (%)	21,54	25,72

V3T2t1



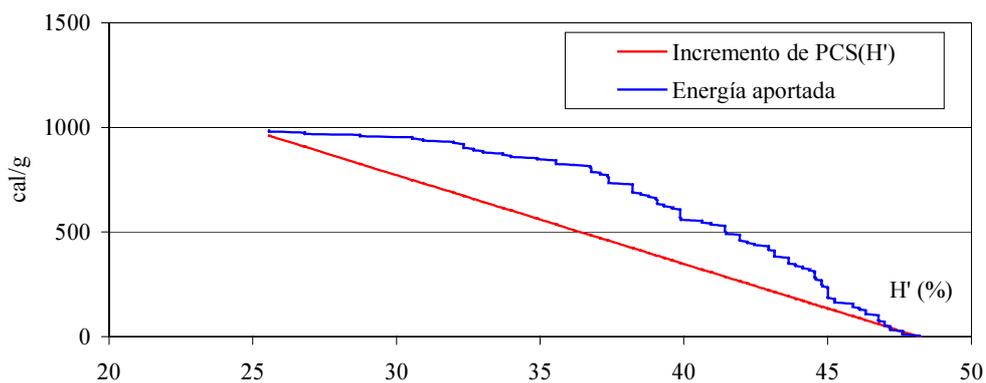
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	30,75	
H (%)	44,40	12,07
		9,00

V3T2t2



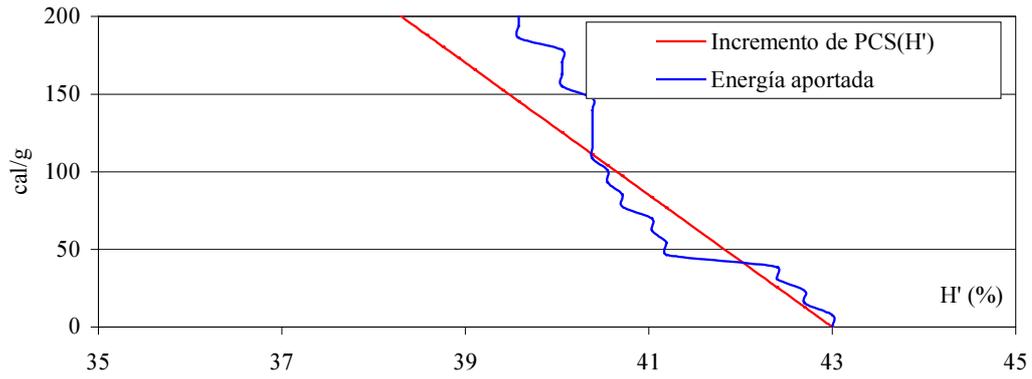
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00
		0,00

V3T2t3



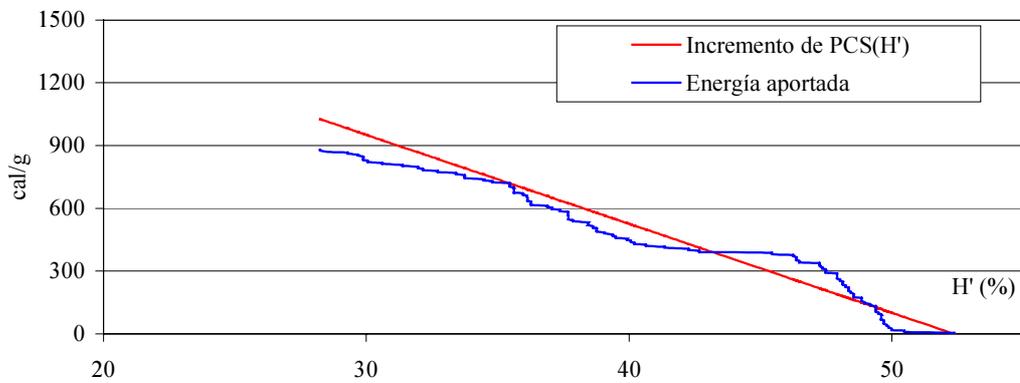
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00
		0,00

V3T3t1



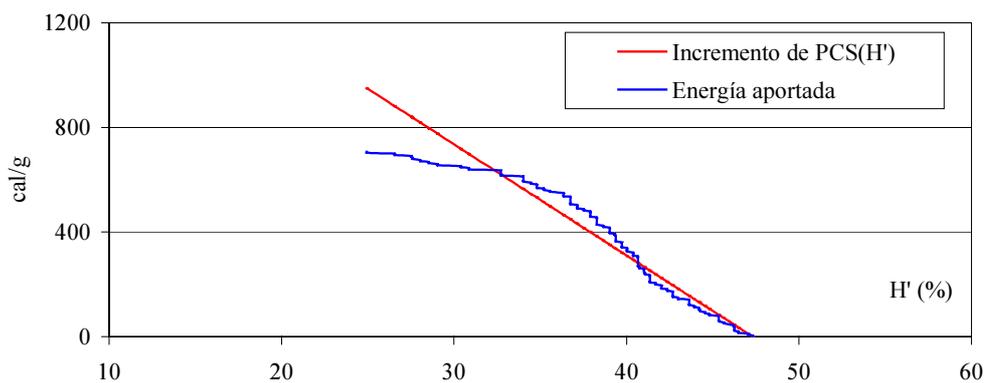
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	40,39	
H (%)	67,76	2,61
		3,50

V3T3t2



Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	28,24	
H (%)	39,35	24,12
		30,00

V3T3t3



Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	24,89	
H (%)	33,14	22,39
		15,00

5.3.- CYNARA.

5.3.1- DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.

La Cynara se compone básicamente de hojas del tallo, hojas basales, tallos y ramas y los capítulos. En un primer momento se analizaron por separado. Se realizaron a la vez los ensayos de determinación de la humedad en estufa y de determinación del PCS(H') en el calorímetro. Los resultados de humedad son los que se reflejan a continuación:

Tabla 75.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de las hojas del tallo de la Cynara.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	14,75	17,30
B	16,36	19,55
C	14,08	16,38
Media	15,06	17,75
Desv. Típ.	1,17	1,63
CV%	7,77	9,19

Tabla 76.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de las hojas basales de la Cynara.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	22,59	29,18
B	23,74	31,14
C	21,93	28,08
Media	22,75	29,47
Desv. Típ.	0,92	1,55
CV%	4,05	5,25

Tabla 77.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de los tallos y ramas de la Cynara.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	35,16	54,23
B	32,76	48,72
C	33,73	50,90
Media	33,88	51,28
Desv. Típ.	1,21	2,78
CV%	3,57	5,42

Tabla 78.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de los capítulos de la Cynara.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	45,80	84,52
B	44,10	78,88
C	44,14	79,02
Media	44,68	80,81
Desv. Típ.	0,97	3,22
CV%	2,18	3,98

En la determinación del PCS(H'), no importa el peso de la muestra introducida, sobre todo si se calculan las correcciones de azufre y de nitrógeno para dichas masas introducidas.

Para un gramo de muestra las calorías a introducir como corrección serán: N(0,5%) = 5,0357 cal · g⁻¹ y S(0,05%) = 1,1260 cal · g⁻¹, para las diferentes cantidades de muestra, las correcciones fueron:

Tabla 79.- Correcciones (de “ácido” y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de hojas del tallo de la Cynara.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,2280	1,1481	0,2567
2	0,1745	0,8787	0,1965
3	0,1816	0,9145	0,2045

Correcciones: N= 0,5% cal/g= 5,0357
S= 0,05% cal/g= 1,1260

Tabla 80.- Correcciones (de “ácido” y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de hojas basales de la Cynara.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,6969	3,5094	0,7847
2	0,5561	2,8004	0,6262
3	0,6535	3,2908	0,7358

Correcciones: N= 0,5% cal/g= 5,0357
S= 0,05% cal/g= 1,1260

Tabla 81.- Correcciones (de “ácido” y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de tallos y ramas de la Cynara.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	1,1438	5,7598	1,2879
2	1,0036	5,0538	1,1301
3	1,1974	6,0297	1,3483

Correcciones: N= 0,5% cal/g= 5,0357
S= 0,05% cal/g= 1,1260

Tabla 82.- Correcciones (de “ácido” y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de capítulos de la Cynara.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,9172	4,6187	1,0328
2	0,8299	4,1791	0,9345
3	0,7199	3,6252	0,8106

Correcciones: N= 0,5% cal/g= 5,0357

S= 0,05% cal/g= 1,1260

En los ensayos para la determinación del poder calorífico de las distintas partes, de la planta de Cynara, los resultados obtenidos fueron:

Tabla 83.- Poder Calorífico de las hojas del tallo de Cynara.

Muestra	PCS(H'= 15,06%) cal/g	PCS(0)cal/g	PCS(H= 17,75%) cal/g
1	3902,84	4594,84	3902,34
2	3951,67	4652,33	3951,17
3	3965,22	4668,28	3964,72
Media	3939,91	4638,48	3939,41
s	26,79	31,54	26,79
CV%	0,68	0,68	0,68

Muestra	PCI(H'=15,06%) cal/g	PCI(0)cal/g	PCI(H=17,75%) cal/g
1	3548,13	4280,46	3547,61
2	3596,96	4337,95	3596,43
3	3610,51	4353,90	3609,98
Media	3585,20	4324,10	3584,67
s	26,79	31,54	26,79
CV%	0,75	0,73	0,75

Tabla 84.- Poder Calorífico de las hojas basales de *Cynara*

Muestra	PCS(H'=22,75%) cal/g	PCS(0)cal/g	PCS(H=29,47%) cal/g
1	2854,79	3695,67	2854,52
2	2815,15	3644,36	2814,88
3	2775,34	3592,82	2775,08
Media	2815,09	3644,28	2814,83
s	32,44	41,99	32,43
CV%	1,15	1,15	1,15

Muestra	PCI(H'=22,75%) cal/g	PCI(0)cal/g	PCI(H=29,47%) cal/g
1	2479,48	3381,30	2479,19
2	2439,84	3329,98	2439,55
3	2400,03	3278,44	2399,75
Media	2439,78	3329,91	2439,50
s	32,44	41,99	32,43
CV%	1,33	1,26	1,33

Tabla 85.- Poder Calorífico de los tallos y ramas de *Cynara*

Muestra	PCS(H'=33,88%) cal/g	PCS(0)cal/g	PCS(H=51,28%) cal/g
1	2908,93	4399,71	2908,28
2	2971,70	4494,65	2971,03
3	2932,88	4435,94	2932,22
Media	2937,84	4443,43	2937,18
s	25,86	39,12	25,86
CV%	0,88	0,88	0,88

Muestra	PCI(H'=33,88%) cal/g	PCI(0)cal/g	PCI(H=51,28%) cal/g
1	2503,81	4085,34	2503,12
2	2566,58	4180,27	2565,88
3	2527,76	4121,56	2527,06
Media	2532,72	4129,06	2532,02
s	25,86	39,12	25,86
CV%	1,02	0,95	1,02

Tabla 86.- Poder Calorífico de los capítulos de Cynara

Muestra	PCS(H'=44,68%) cal/g	PCS(0)cal/g	PCS(H=80,81%) cal/g
1	2362,76	4271,10	2362,27
2	2368,02	4280,61	2367,53
3	2422,59	4379,26	2422,08
Media	2384,46	4310,32	2383,96
s	27,05	48,90	27,04
CV%	1,13	1,13	1,13

Muestra	PCI(H'=44,68%) cal/g	PCI(0)cal/g	PCI(H=44,68%) cal/g
1	1928,73	3956,73	1928,20
2	1933,99	3966,23	1933,46
3	1988,56	4064,88	1988,02
Media	1950,42	3995,95	1949,90
s	27,05	48,90	27,04
CV%	1,39	1,22	1,39

Tabla 87.- Análisis de varianza: estudio de la significación de las diferencias entre los resultados de poder calorífico para las distintas partes de la planta de Cynara

Tres ensayos n = 4		PCI(0) cal·g ⁻¹ (Tres réplicas por ensayo) r = 3			Totales	Media en cada ensayo PCI(0)(cal·g ⁻¹)
1	Hojas tallo	4280,46	4337,95	4353,90	12972,31	4324,10
2	Hojas Basales	3381,30	3329,98	3278,44	9989,72	3329,91
3	Tallos/Ramas	4085,35	4180,27	4121,56	12387,18	4129,06
4	Capítulos	3956,73	3966,23	4064,88	11987,84	3995,95

Total general = 35349,21 **3944,75** =Media
431,48 = s
10,94 = CV%

(C= 104130553,97)

Fuente de variación	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F _o)	F requerido (F _r)	
					5%	1%
Total	11	84298105,43				
Ensayos	3	84278068,91	28092689,64	11216,59**	4,07	7,59
Error	8	20036,52	2504,56			

ns = no significativo; * = significativo (Pr < 5%); ** = altamente significativo (Pr < 1%).

Como se puede observar las diferencias entre los valores del PCI(0) de las distintas partes de la Cynara son altamente significativas, por lo tanto se hace necesario picar y homogeneizar lo más posible para repetir los ensayos pero ya con muestras picadas.

Para obtener el poder calorífico de la Cynara por determinación en calorímetro se utilizarán pastillas de ensayo formadas a partir de una mezcla proporcional de las distintas fracciones que la componen:

Tabla 88.- Composición tipo de la planta de Cynara.

Fracción	% del total	Masa de cada fracción (g)
Hojas del tallo	12,10	6,05
Hojas basales	21,00	10,50
Tallos y ramas	21,90	10,95
Capítulos	45,00	22,50
Total	100	50

(Fernández, 1998):

Tabla 89.- Composición real de la mezcla picada de Cynara preparada para la realización de las pastillas.

Fracción	% del total	Masa de cada fracción (g)
Hojas del tallo	12,38	6,15
Hojas basales	20,33	10,10
Tallos y ramas	22,35	11,10
Capítulos	44,94	22,32
Total	100	49,67

Los resultados de humedad y poder calorífico obtenidos al realizar la desecación en la estufa y la combustión en el calorímetro se presentan a continuación:

Tabla 90.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de la Cynara picada.

Muestra	H' (%)	H (%)
A	25,00	33,33
B	26,22	35,53
C	26,11	35,34
Media	25,78	34,74
Desv. Típ.	0,68	1,22
CV%	2,62	3,51

Tabla 91.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de la Cynara picada.

Muestra	Ph (g)	N(cal)	S(cal)
1	0,8317	4,1882	0,9365
2	0,8943	4,5034	1,0070
3	0,9847	4,9587	1,1088

Correcciones: N= 0,5% cal/g= 5,0357

S= 0,05% cal/g= 1,1260

Tabla 92.- Poder Calorífico de la Cynara picada, obtenido por determinación en calorímetro.

Muestra	PCS(H'=25,78%) cal/g	PCS(0)cal/g	PCS(H=34,74%) cal/g
1	3126,28	4212,03	3126,11
2	3160,58	4258,24	3160,41
3	3165,21	4264,48	3165,04
Media	3150,69	4244,91	3150,52
s	17,36	23,39	17,36
CV%	0,55	0,55	0,55

Muestra	PCI(H'=25,78%) cal/g	PCI(0)cal/g	PCI(H=34,74%) cal/g
1	2742,87	3897,65	2742,69
2	2777,17	3943,86	2776,99
3	2781,80	3950,10	2781,62
Media	2767,28	3930,54	2767,10
s	17,36	23,39	17,36
CV%	0,63	0,60	0,63

A continuación se presentan las curvas de Poder Calorífico Superior e Inferior en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ de la Cynara determinado en el calorímetro y para distintos contenidos de humedad.

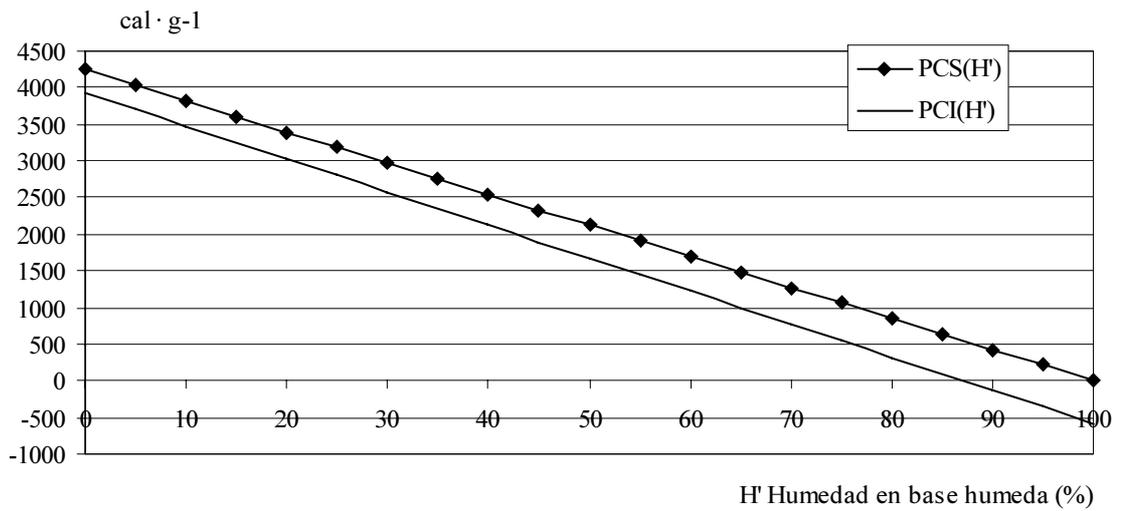
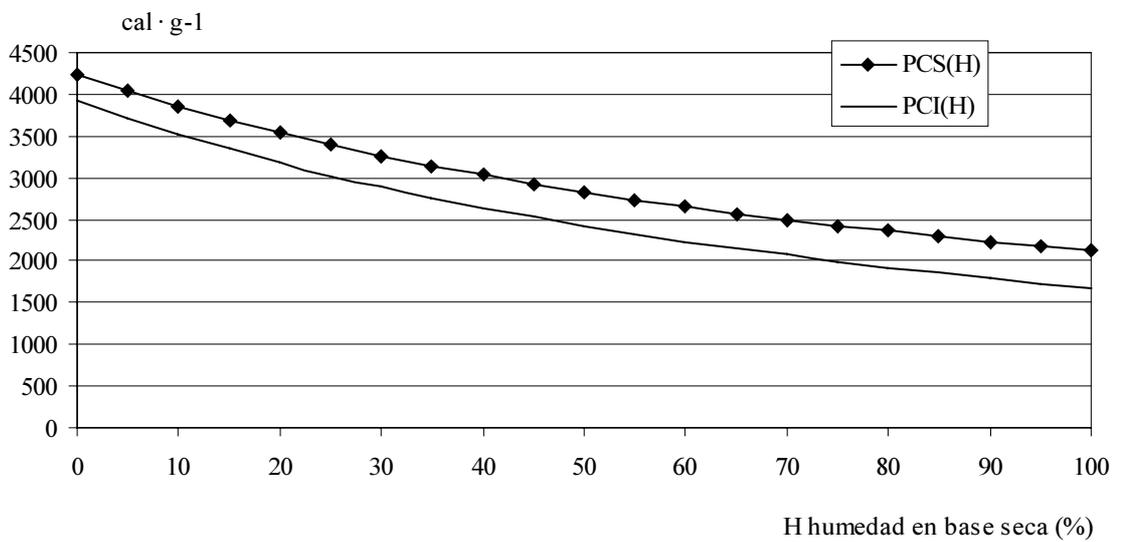


Figura 9.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para la planta de Cynara determinado en el calorímetro.

Figura 10.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en



base seca para la planta de Cynara determinado en calorímetro.

NOTA: Tabla de valores de las curvas presentadas anteriormente

Tabla 93.- Poder Calorífico Superior e Inferior de la planta de Cynara determinado en calorímetro y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).

<i>H' y/o H</i> %	<i>PCS(H')</i> <i>cal · g⁻¹</i>	<i>PCI(H')</i> <i>cal · g⁻¹</i>	<i>PCS(H)</i> <i>cal · g⁻¹</i>	<i>PCI(H)</i> <i>cal · g⁻¹</i>
0	4244,91	3930,20	4244,91	3930,20
5	4032,67	3704,55	4042,78	3715,30
10	3820,42	3478,90	3859,01	3519,93
15	3608,18	3253,25	3691,23	3341,55
20	3395,93	3027,60	3537,43	3178,03
25	3183,69	2801,95	3395,93	3027,60
30	2971,44	2576,30	3265,32	2888,74
35	2759,19	2350,65	3144,38	2760,16
40	2546,95	2125,00	3032,08	2640,77
45	2334,70	1899,35	2927,53	2529,62
50	2122,46	1673,70	2829,94	2425,87
55	1910,21	1448,05	2738,65	2328,81
60	1697,97	1222,40	2653,07	2237,83
65	1485,72	996,75	2572,68	2152,35
70	1273,47	771,10	2497,01	2071,91
75	1061,23	545,45	2425,67	1996,06
80	848,98	319,80	2358,29	1924,42
85	636,74	94,15	2294,55	1856,66
90	424,49	-131,50	2234,17	1792,46
95	212,25	-357,15	2176,88	1731,56
100	0,00	-582,80	2122,46	1673,70

Las ecuaciones que proporcionan el poder calorífico superior (PCS(H')) e inferior (PCI(H')) en función del contenido de humedad en base húmeda para la planta de Cynara utilizada en los ensayos son:

Tabla 94.- Ecuaciones del poder calorífico (superior e inferior) de la planta de Cynara, obtenido por determinación en calorímetro.

Ecuaciones de poder calorífico	PCS (H') cal · g⁻¹	PCI (H') cal · g⁻¹
Hojas del tallo	4638,48 – 46,39 · H'	4324,10 – 49,07 · H'
Hojas basales	3644,28 – 36,44 · H'	3329,90 – 39,12 · H'
Tallos y ramas	4443,43 – 44,43 · H'	4129,05 – 47,11 · H'
Capítulos	4310,32 – 43,10 · H'	3995,94 – 45,78 · H'
Planta picada	4244,91 – 42,45 · H'	3930,53 – 45,13 · H'

H' (%) = humedad en base húmeda.

Si no se determina en calorímetro el poder calorífico sino que se calcula en función de las distintas fracciones que los componen se tiene:

Tabla 95.- Poder Calorífico de la Cynara obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de las fracciones.

Fracción	%	PCS(0) cal · g⁻¹ de cada fracción	PCS(0) cal · g⁻¹ referido a la biomasa total	PCI(0) cal · g⁻¹ de cada fracción	PCI(0) cal · g⁻¹ referido a la biomasa total
Hojas del tallo	12,10	4638,48	561,26	4324,10	523,22
Hojas basales	21,00	3644,28	765,30	3329,91	699,28
Tallos/ramas	21,90	4443,43	973,11	4129,06	904,26
Capítulos	45,00	4310,32	1939,64	3995,95	1798,18
Total	100	-	4239,31	-	3924,94

A continuación se presentan las curvas de Poder Calorífico Superior e Inferior en cal · g⁻¹ de la planta de Cynara calculado en función de los poderes caloríficos de sus fracciones y para distintos contenidos de humedad:

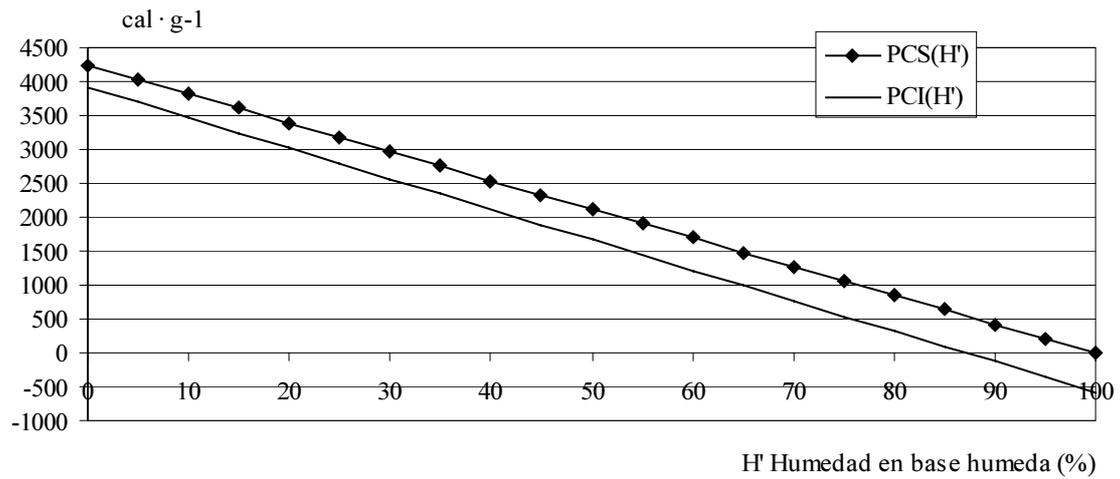


Figura 11.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para la planta de Cynara calculado en función del poder calorífico de sus fracciones.

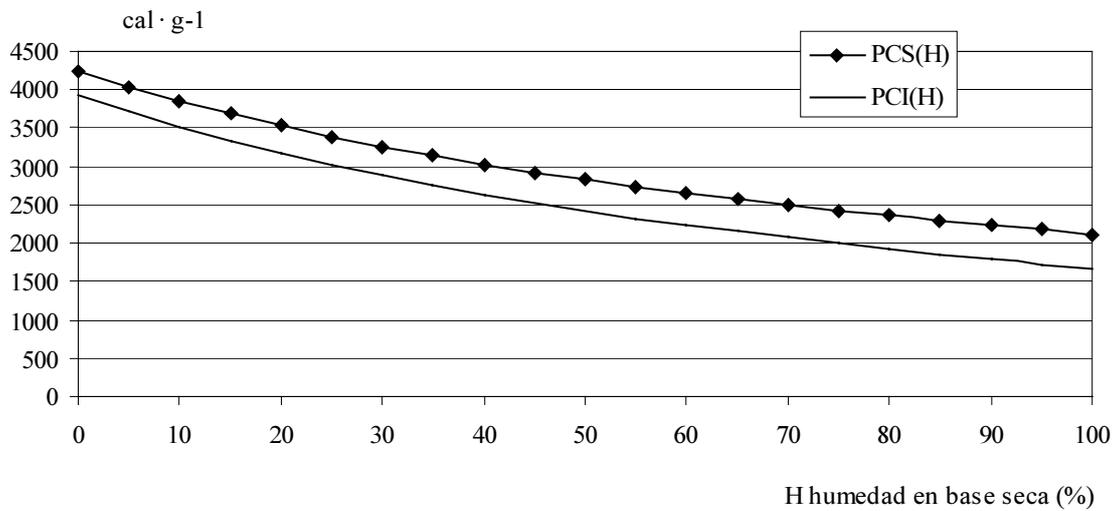


Figura 12.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para la planta de Cynara calculado en función del poder calorífico de sus fracciones.

NOTA: Tabla de valores de las curvas presentadas anteriormente

Tabla 96.- Poder Calorífico Superior e Inferior de la planta de *Cynara* calculado en función de los poderes caloríficos de las fracciones que la componen y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).

H'/H %	PCS(H') cal · g⁻¹	PCI(H') cal · g⁻¹	PCS(H) cal · g⁻¹	PCI(H) cal · g⁻¹
0	4239,31	3924,60	4239,31	3924,60
5	4027,34	3699,23	4037,44	3709,96
10	3815,38	3473,86	3853,92	3514,83
15	3603,41	3248,49	3686,36	3336,68
20	3391,45	3023,12	3532,76	3173,37
25	3179,48	2797,75	3391,45	3023,12
30	2967,52	2572,38	3261,01	2884,43
35	2755,55	2347,01	3140,23	2756,01
40	2543,59	2121,64	3028,08	2636,77
45	2331,62	1896,27	2923,66	2525,75
50	2119,66	1670,90	2826,21	2422,13
55	1907,69	1445,53	2735,04	2325,20
60	1695,72	1220,16	2649,57	2234,32
65	1483,76	994,79	2569,28	2148,96
70	1271,79	769,42	2493,71	2068,61
75	1059,83	544,05	2422,46	1992,86
80	847,86	318,68	2355,17	1921,31
85	635,90	93,31	2291,52	1853,63
90	423,93	-132,06	2231,22	1789,51
95	211,97	-357,43	2174,01	1728,69
100	0,00	-582,80	2119,66	1670,90

La ecuación que proporciona el poder calorífico en función del contenido de humedad en base húmeda para la composición tipo es:

Tabla 97.- Ecuación del poder calorífico (superior e inferior) de la planta de *Cynara*, obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de sus fracciones.

Ecuación de poder calorífico	PCS (H') cal · g⁻¹	PCI (H') cal · g⁻¹
Planta de Cynara	4239,31 – 42,39 · H'	3924,93 – 45,07 · H'

H' (%) = humedad en base húmeda.

5.3.2.- SECADO FORZADO.

En los ensayos de secado forzado se consideraron como factores de variación:

Tabla 98.- Factores de variación debidos a diferentes condiciones de secado en el secadero (CYNARA).

Factores	Códigos	Valor	
		<i>en tubo</i>	<i>en bandejas</i>
Velocidad del aire de entrada (V) ($m \cdot s^{-1}$)	V1	15	0,85
	V2	10	0,60
	V3	6	0,35
Temperatura del aire de entrada (T) ($^{\circ}C$)	T1	50	
	T2	45	
	T3	40	
Tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	
	t2	0,50	
	t3	0,25	

Tabla 99.- Factor de variación debido a diferentes condiciones del material introducido en el secadero (CYNARA).

Factor	Código	Valor
Humedad inicial del material introducido en el secadero(H)	H1	$H' < 26 \%$
	H2	$26 \% \leq H' \leq 30 \%$
	H3	$H' > 30 \%$

Tabla 100.- Condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CYNARA).

Ensayos	n°	Condiciones reales del secadero en los ensayos				
		Fecha	V (m · s ⁻¹) en tubo	V (m · s ⁻¹) en bandejas	T (°C)	t (h)
V1T1t1	1	6-sep-00	14,84	0,82	50,27	0,75
V1T1t2	2	25-jul-00	14,96	0,83	50,21	0,50
V1T1t3	3	19-ago-00	15,11	0,84	50,01	0,25
V1T2t1	4	25-jul-00	15,40	0,86	44,23	0,75
V1T2t2	5	19-ago-00	14,86	0,83	45,41	0,50
V1T2t3	6	28-jul-00	15,74	0,87	44,73	0,25
V1T3t1	7	27-jul-00	15,94	0,89	39,72	0,75
V1T3t2	8	27-jul-00	15,27	0,85	40,13	0,50
V1T3t3	9	7-sep-00	16,41	0,91	40,75	0,25
V2T1t1	10	1-ago-00	10,35	0,57	50,85	0,75
V2T1t2	11	4-ago-00	10,21	0,57	49,99	0,50
V2T1t3	12	1-ago-00	9,72	0,54	50,57	0,25
V2T2t1	13	2-ago-00	10,09	0,56	44,46	0,75
V2T2t2	14	2-ago-00	10,66	0,59	44,85	0,50
V2T2t3	15	2-ago-00	10,11	0,56	45,22	0,25
V2T3t1	16	3-ago-00	10,48	0,58	39,85	0,75
V2T3t2	17	3-ago-00	10,40	0,58	39,53	0,50
V2T3t3	18	7-sep-00	9,97	0,55	40,31	0,25
V3T1t1	19	7-ago-00	6,35	0,35	51,78	0,75
V3T1t2	20	7-ago-00	6,26	0,35	50,80	0,50
V3T1t3	21	9-ago-00	6,06	0,34	50,58	0,25
V3T2t1	22	18-ago-00	6,32	0,35	45,54	0,75
V3T2t2	23	9-ago-00	6,53	0,36	45,72	0,50
V3T2t3	24	9-ago-00	6,40	0,36	46,06	0,25
V3T3t1	25	16-ago-00	6,11	0,34	40,26	0,75
V3T3t2	26	16-ago-00	6,20	0,34	40,27	0,50
V3T3t3	27	16-ago-00	6,46	0,36	40,02	0,25

Tabla 101.-Medias de las condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CYNARA).

Velocidad real del aire de secado (m · s ⁻¹)				Media de la temperatura real del aire de secado (°C)		
Código	Media en el tubo	Media en bandejas	Desv.tip.	Código	Media	Desv.tip.
V1	15,39	0,86	0,54	T1	50,56	0,56
V2	10,22	0,57	0,29	T2	45,14	0,61
V3	6,30	0,35	0,16	T3	40,09	0,36

I.- RESULTADOS DE LOS BALANES DE MATERIA.

Se presentan los resultados de los balances de agua que se elaboraron: g de agua a la entrada y a la salida del secadero (así como las pérdidas registradas) para cada ensayo.

Tabla 102.- Resultados de los Balances de materia (balances de agua) para cada uno de los ensayos (CYNARA).

Ensayos	n°	Balance de agua (g de agua)		
		ENTRADA	SALIDA	PÉRDIDAS
V1T1t1	1	5445,66	5078,85	366,81
V1T1t2	2	4321,76	4112,63	209,13
V1T1t3	3	1741,32	1711,33	29,99
V1T2t1	4	6132,48	6044,53	87,95
V1T2t2	5	3711,64	3777,06	-65,42
V1T2t3	6	2534,03	2498,17	35,86
V1T3t1	7	6857,45	6302,56	554,89
V1T3t2	8	4576,44	4476,07	100,37
V1T3t3	9	2195,97	1981,99	213,98
V2T1t1	10	4968,32	4857,15	111,17
V2T1t2	11	2392,21	2172,28	219,93
V2T1t3	12	1916,05	1379,67	536,38
V2T2t1	13	4164,90	3551,17	613,73
V2T2t2	14	2792,96	2513,97	278,99
V2T2t3	15	1991,86	1505,96	485,90
V2T3t1	16	3642,61	3573,26	69,35
V2T3t2	17	2393,05	2333,37	59,68
V2T3t3	18	1358,11	1218,34	139,77
V3T1t1	19	2428,01	2228,60	199,41
V3T1t2	20	1885,08	1601,37	283,71
V3T1t3	21	1553,36	1243,39	309,97
V3T2t1	22	2817,29	2573,03	244,26
V3T2t2	23	1934,75	1682,77	251,98
V3T2t3	24	1440,32	1303,76	136,56
V3T3t1	25	2487,07	2279,75	207,32
V3T3t2	26	2117,85	1840,26	277,59
V3T3t3	27	1726,04	1597,47	128,57

Tabla 103.- Resultados de los balances de agua para cada uno de los factores de variación del secadero (CYNARA).

Condiciones de secado			Balance de agua (g de agua)			P/E · 100 (%)
			ENTRADA (E)	SALIDA (S)	PERDIDAS (P)	
Velocidad del aire en la base de las bandejas (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	4168,53	3998,13	170,40	4,09
	V2	0,60	2846,67	2567,24	279,43	9,82
	V3	0,35	2043,31	1816,71	226,60	11,09
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	2961,31	2709,47	251,83	8,50
	T2	45	3057,80	2827,82	229,98	7,52
	T3	40	3039,40	2844,79	194,61	6,40
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	4327,09	4054,32	272,77	6,30
	t2	0,50	2902,86	2723,31	179,55	6,19
	t3	0,25	1828,56	1604,45	224,11	12,26

Como se puede observar en la Tabla anterior, la relación entre los g de agua perdidos y los g de agua que entran en el secadero es mayor para V3, T1 y t3, lo que sugiere que las pérdidas se hacen mayores cuando se trabaja con bajas velocidades de aire, altas temperaturas y en cortos períodos de tiempo.

II.- ESTUDIO DEL SECADO FORZADO: EFECTO DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN.

Durante los ensayos de secado forzado se tomaron los siguientes datos:

Tabla 104- Resultados directos del secado forzado (CYNARA)⁵.

Ensayo	n°	Humedad Inicial		Humedad Final		°H	Ph inicial (kg)	Ph final (kg)	Pa (kg)	Ps (kg)
		H'(b.h.) %	H(b.s.) %	H'(b.h.) %	H(b.s.) %					
V1T1t1	1	27,95	38,79	6,99	7,52	20,96	1,535	1,189	0,346	1,106
V1T1t2	2	33,02	49,30	13,57	15,70	19,45	2,426	1,880	0,546	1,625
V1T1t3	3	18,53	22,74	8,79	9,64	9,74	1,705	1,523	0,182	1,389
V1T2t1	4	26,01	35,15	11,84	13,43	14,17	2,484	2,085	0,399	1,838
V1T2t2	5	30,41	43,70	15,24	17,98	15,17	2,062	1,693	0,369	1,435
V1T2t3	6	24,04	31,65	15,20	17,92	8,84	3,140	2,813	0,327	2,385
V1T3t1	7	28,43	39,72	13,74	15,93	14,69	2,683	2,226	0,457	1,920
V1T3t2	8	31,72	46,46	25,41	34,07	6,31	3,603	3,298	0,305	2,460
V1T3t3	9	19,53	24,27	11,15	12,55	8,38	2,432	2,203	0,229	1,957
V2T1t1	10	33,81	51,08	12,89	14,80	20,92	3,416	2,595	0,821	2,261
V2T1t2	11	25,89	34,93	12,40	14,16	13,49	2,209	1,869	0,340	1,637
V2T1t3	12	30,95	44,82	12,48	14,26	18,47	3,363	2,653	0,710	2,322
V2T2t1	13	33,41	50,17	9,83	10,90	23,58	3,023	2,232	0,791	2,013
V2T2t2	14	21,81	27,89	8,44	9,22	13,37	2,976	2,542	0,434	2,327
V2T2t3	15	30,94	44,80	12,46	14,23	18,48	3,058	2,413	0,645	2,112
V2T3t1	16	33,04	49,34	22,82	29,57	10,22	2,748	2,384	0,364	1,840
V2T3t2	17	20,72	26,14	11,75	13,31	8,97	2,080	1,869	0,211	1,649
V2T3t3	18	29,05	40,94	11,26	12,69	17,79	1,260	1,007	0,253	0,894
V3T1t1	19	23,99	31,56	7,73	8,38	16,26	2,859	2,355	0,504	2,173
V3T1t2	20	29,05	40,94	8,84	9,70	20,21	2,695	2,097	0,598	1,912
V3T1t3	21	31,80	46,63	19,25	23,84	12,55	3,170	2,677	0,493	2,162
V3T2t1	22	26,62	36,28	8,18	8,91	18,44	2,250	1,798	0,452	1,651
V3T2t2	23	29,25	41,34	17,84	21,71	11,41	2,766	2,382	0,384	1,957
V3T2t3	24	32,51	48,17	21,24	26,97	11,27	2,707	2,320	0,387	1,827
V3T3t1	25	25,60	34,41	14,62	17,12	10,98	1,863	1,623	0,240	1,386
V3T3t2	26	26,83	36,67	15,78	18,74	11,05	2,583	2,244	0,339	1,890
V3T3t3	27	36,86	58,38	29,75	42,35	7,11	2,672	2,402	0,270	1,687

a.- Efecto de H sobre el descenso de humedad:

⁵ H' (b.h.) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base húmeda.

H (b.s.) (%) = Humedad (inicial y final) del ensayo correspondiente en base seca.

°H = Puntos de humedad reducidos en cada ensayo de secado forzado.

Ph (kg) = Peso húmedo (inicial y final) del material introducido en cada ensayo correspondiente.

Pa (kg) = Peso de agua rebajado en cada ensayo de secado forzado.

Ps (kg) = Peso seco del material introducido en cada ensayo.

Se estudió aquí el efecto de la humedad inicial de entrada del material introducido en el secadero (H) sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos) independientemente de las condiciones de secado del secadero:

Tabla 105.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la humedad inicial del material introducido (CYNARA).

Exp. Elem. n = 3	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%)									Total	Media
	r=9										
H1	9,74	8,84	8,38	13,49	13,37	8,97	16,26	18,44	10,98	108,47	12,05
H2	20,96	14,17	14,69	18,47	18,48	17,79	20,21	11,41	11,05	147,23	16,36
H3	19,45	15,17	6,31	20,92	23,58	10,22	12,55	11,27	7,11	126,58	14,06
										382,28	14,16
										Tg	Mg

Tabla 106- Análisis de Varianza: Experimento Elemental (H) (CYNARA).

$$C = 5412,52$$

Fuente variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Exp.Elem (H)	2	83,58	41,79	1,96ns	3,49	5,95
Error	24	510,52	21,27			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

No existe una diferencia significativa entre las medias de los experimentos elementales lo que haría pensar en que no existe un efecto real de la humedad inicial del material sobre la respuesta: los puntos de humedad reducidos en cada ensayo.

Sin embargo esta afirmación no puede ser tajante pues el valor de F es bastante mayor a 1 (F = 1,96)

b.- Efecto de las combinaciones (V,H); (T,H) y (t,H) sobre el descenso de humedad:

Se estudió aquí el efecto de la combinación de la humedad inicial del material introducido (H) con cada uno de los tres factores de variación derivados de las distintas condiciones de secado del secadero: velocidad (V) y temperatura (T) del aire de entrada y tiempo de residencia (t), sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos):

Tabla 107- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Velocidad del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (CYNARA).

Exp. Elemental n = 9	Respuesta: Puntos de humedad reducidos (%) r =3			Total Exp. Elem.	Media Exp.Elem.
V1H1	19,45	15,17	6,31	40,93	13,64
V1H2	20,96	14,17	14,69	49,82	16,61
V1H3	9,74	8,84	8,38	26,96	8,99
V2H1	20,92	23,58	10,22	54,72	18,24
V2H2	18,47	18,48	17,79	54,74	18,25
V2H3	13,49	13,37	8,97	35,83	11,94
V3H1	12,55	11,27	7,11	30,93	10,31
V3H2	20,21	11,41	11,05	42,67	14,22
V3H3	16,26	18,44	10,98	45,68	15,23
				382,28	14,16
				Total general	Media general

Tabla 108- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (V,H) (CYNARA).

Análisis de varianza C = 5412,52

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Exp.Elemental (V,H)	8	261,72	32,72	1,77ns	2,51	3,71
Error	18	332,38	18,47			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Exp.Elemental	8	261,72	32,72	1,77ns		
V	2	53,32	26,66	1,44ns	3,55	6,01
H	2	83,58	41,79	2,26ns	3,55	6,01
VxH	4	124,82	31,21	1,69ns	2,93	4,58
Error	18	332,38	18,47			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

No existe una diferencia significativa entre las medias de los experimentos elementales, lo que hace pensar que no hay un efecto real de éstos sobre la respuesta.

En la separación de medias se observan que no existen diferencias significativas que pudieran ser debidas al efecto que producirían las diferentes velocidades de entrada del aire al secadero utilizadas.

El efecto que producirían las distintas humedades iniciales del material ensayado también sería no significativo, sin embargo en este caso, el valor F es relativamente alto por lo que no se puede afirmar que no exista un efecto real.

El efecto de una posible interacción entre estos dos factores resulta no significativa.

Tabla 109- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Temperatura del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (CYNARA).

Exp. Elemental n = 9	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%) r =3			Total Exp. Elem.	Media Exp.Elem.
T1H1	19,45	20,92	12,55	52,92	17,64
T1H2	20,96	18,47	20,21	59,64	19,88
T1H3	9,74	13,49	16,26	39,49	13,16
T2H1	15,17	23,58	11,27	50,02	16,67
T2H2	14,17	18,48	11,41	44,06	14,69
T2H3	8,84	13,37	18,44	40,65	13,55
T3H1	6,31	10,22	7,11	23,64	7,88
T3H2	14,69	17,79	11,05	43,53	14,51
T3H3	8,38	8,97	10,98	28,33	9,44
				382,28	14,16
				Total general	Media general

Tabla 110- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (T,H) (CYNARA).

Análisis de varianza

C = 5412,52

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Exp.Elemental (T,H)	8	343,79	42,97	3,09*	2,51	3,71
Error	18	250,31	13,91			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Exp.Elemental	8	343,79	42,97	3,09*		
T	2	186,55	93,28	6,71**	3,55	6,01
H	2	83,58	41,79	3,01ns	3,55	6,01
TxH	4	73,66	18,41	1,32ns	2,93	4,58
Error	18	250,31	13,91			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados;

Existe una diferencia significativa (probabilidad $< 5\%$) entre las medias de los experimentos elementales, lo que hace pensar que hay un efecto real de éstos sobre la respuesta.

En la separación de medias se observan diferencias altamente significativas (pr. $< 1\%$) debidas al efecto que produce las distintas temperaturas del aire de secado.

El efecto que producirían las distintas humedades iniciales del material ensayado sería no significativo, sin embargo, el valor F es relativamente alto por lo que no se puede afirmar que no exista un efecto real.

El efecto de una posible interacción entre estos dos factores resulta no significativa.

Tabla 111- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tiempo de residencia y la humedad inicial del material introducido (CYNARA).

Exp. Elemental n = 9	Respuesta: puntos de humedad reducidos (%) r =3			Total Exp. Elem.	Media Exp. Elem.
t1H1	20,92	23,58	10,22	54,72	18,24
t1H2	20,96	14,17	14,69	49,82	16,61
t1H3	16,26	18,44	10,98	45,68	15,23
t2H1	19,45	15,17	6,31	40,93	13,64
t2H2	20,21	11,41	11,05	42,67	14,22
t2H3	13,49	13,37	8,97	35,83	11,94
t3H1	12,55	11,27	7,11	30,93	10,31
t3H2	18,47	18,48	17,79	54,74	18,25
t3H3	9,74	8,84	8,38	26,96	8,99
				382,28	14,16
				Total general	Media general

Tabla 112- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (t,H) (CYNARA).

Análisis de varianza C = 5412,52

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Exp.Elemental (t,H)	8	261,72	32,72	1,77ns	2,51	3,71
Error	18	332,38	18,47			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Exp.Elemental	8	261,72	32,72	1,77ns		
t	2	89,16	44,58	2,41ns	3,55	6,01
H	2	83,58	41,79	2,26ns	3,55	6,01
txH	4	88,98	22,25	1,20ns	2,93	4,58
Error	18	332,38	18,47			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

No existe una diferencia significativa entre las medias de los experimentos elementales, lo que haría pensar que no hay un efecto real de éstos sobre la respuesta.

En la separación de medias se observa que no existen diferencias significativas que pudieran ser debidas al efecto que producirían los diferentes tiempos de secado utilizados ni debidas al efecto de las distintas humedades iniciales del material ensayado. Sin embargo, en ambos casos, el F observado es bastante mayor de 1 por lo que no se debe descartar que exista un efecto real.

El efecto de una posible interacción entre estos dos factores resulta no significativa.

c.- Efecto de (V, T y t) sobre el descenso de humedad:

Se estudió aquí el efecto de los tres factores de variación derivados de las distintas condiciones de secado del secadero: velocidad (V) y temperatura (T) del aire de entrada y tiempo de residencia (t) sobre la respuesta en el secado (puntos de humedad reducidos) independientemente de la humedad inicial del material introducido:

A.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Velocidades y tres Temperaturas distintas del aire de entrada.

Bloques: tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Tabla 113.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (VT) y el bloque (t) considerado (CYNARA).

Tratamientos		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		t1	t2	t3		
A	V1T1	20,96	19,45	9,74	50,15	16,72
B	V1T2	14,17	15,17	8,84	38,18	12,73
C	V1T3	14,69	6,31	8,38	29,38	9,79
D	V2T1	20,92	13,49	18,47	52,88	17,63
E	V2T2	23,58	13,37	18,48	55,43	18,48
F	V2T3	10,22	8,97	17,79	36,98	12,33
G	V3T1	16,26	20,21	12,55	49,02	16,34
H	V3T2	18,44	11,41	11,27	41,12	13,71
I	V3T3	10,98	11,05	7,11	29,14	9,71
Total Bloque	Tb	150,22	119,43	112,63	382,28	
Media Bloque	Xb	16,69	13,27	12,51		14,16

Tabla 114.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (VT) y Bloques (t) (CYNARA).

Análisis de Varianza C = 5412,52

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Bloques (t)	2	89,16	44,58	2,90ns	3,63	6,23
Tratamientos (V,T)	8	259,21	32,40	2,11ns	2,59	3,89
Error	16	245,74	15,36			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (Fo)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	259,21	32,40	2,11ns		
V	2	53,32	26,66	1,74ns	3,63	6,23
T	2	186,55	93,28	6,07*	3,63	6,23
VxT	4	19,33	4,83	0,31ns	3,01	4,77
Error	16	245,74	15,36			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

No existen diferencias significativas debidas a los bloques, es decir, no se produce un efecto real del tiempo de residencia sobre la respuesta, sin embargo con un F observado tan elevado sería arriesgado afirmarlo rotundamente.

Las diferencias entre las medias de los tratamientos no resultaron significativas pero sin embargo si se hace la separación de medias se observan unas diferencias significativas (pr. < 5%) entre las medias de los ensayos realizados con diferente temperatura de secado.

La velocidad, a los niveles estudiados, no produce un efecto real sobre la respuesta, es decir, no existen diferencias significativas entre las medias de los ensayos realizados con diferente velocidad de secado.

Tampoco existe un efecto real de la interacción entre la velocidad y la temperatura de secado.

B.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Velocidades del aire de secado y tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Bloques: tres Temperaturas distintas del aire de entrada.

Tabla 115.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Vi) y el bloque (T) considerado (CYNARA).

Tratamiento		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		T1	T2	T3		
A	V1t1	20,96	14,17	14,69	49,82	16,61
B	V1t2	19,45	15,17	6,31	40,93	13,64
C	V1t3	9,74	8,84	8,38	26,96	8,99
D	V2t1	20,92	23,58	10,22	54,72	18,24
E	V2t2	13,49	13,37	8,97	35,83	11,94
F	V2t3	18,47	18,48	17,79	54,74	18,25
G	V3t1	16,26	18,44	10,98	45,68	15,23
H	V3t2	20,21	11,41	11,05	42,67	14,22
I	V3t3	12,55	11,27	7,11	30,93	10,31
Total Bloque	Tb	152,05	134,73	95,50	382,28	
Media Bloque	Xb	16,89	14,97	10,61		14,16

Tabla 116.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Vt) y Bloques (T) (CYNARA).

Análisis de Varianza C = 5412,52

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Bloques (T)	2	186,55	93,28	10,23**	3,63	6,23
Tratamientos (V,t)	8	261,72	32,72	3,59*	2,59	3,89
Error	16	145,83	9,11			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	261,72	32,72	3,59*		
V	2	65,59	32,80	3,60ns	3,63	6,23
t	2	106,59	53,29	5,85*	3,63	6,23
Vxt	4	89,54	22,39	1,94ns	3,01	4,77
Error	16	145,83	9,11			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

Existen diferencias altamente significativas ($pr < 1\%$) debidas a los bloques, es decir, se puede esperar un efecto real de la temperatura de secado sobre la respuesta.

Los tratamientos presentan diferencias significativas ($pr. < 5\%$) entre las medias, haciendo la separación de éstas se puede observar que estas diferencias son debidas al efecto que produce sobre la respuesta el tiempo de residencia del material que presenta unas diferencias significativas entre sus medias ($pr. < 5\%$)

La interacción de estos dos factores produce diferencias no significativas.

C.- Tratamientos: nueve combinaciones de tres Temperaturas distintas del aire de entrada y tres tiempos de permanencia distintos del material de secado en el interior del secadero.

Bloques:. tres Velocidades del aire de secado.

Tabla 117.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Tt) y el bloque (V) considerado (CYNARA).

Tratamiento		Bloques			Total Tratamiento Tt	Media Tratamiento Xt
		I	II	III		
		V1	V2	V3		
A	T1t1	20,96	20,92	16,26	58,14	19,38
B	T1t2	19,45	13,49	20,21	53,15	17,72
C	T1t3	9,74	18,47	12,55	40,76	13,59
D	T2t1	14,17	23,58	18,44	56,19	18,73
E	T2t2	15,17	13,37	11,41	39,95	13,32
F	T2t3	8,84	18,48	11,27	38,59	12,86
G	T3t1	14,69	10,22	10,98	35,89	11,96
H	T3t2	6,31	8,97	11,05	26,33	8,78
I	T3t3	8,38	17,79	7,11	33,28	11,09
Total Bloque	Tb	117,71	145,29	119,28	382,28	
Media Bloque	Xb	13,08	16,14	13,25		14,16

Tabla 118.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Tt) y Bloques (V) (CYNARA).

Análisis de Varianza C= 5412,52

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Total	26	594,10				
Bloques (V)	2	53,32	26,66	1,93ns	3,63	6,23
Tratamientos (T,t)	8	320,14	40,02	2,90*	2,59	3,89
Error	16	220,64	13,79			

Análisis de Varianza.- Análisis Funcional de Varianza.- Prueba F Planeada.

Fuente de variación	Grados libertad (gl)	Suma cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F observado (F0)	F requerido (Fr)	
					5%	1%
Tratamiento	8	320,14	40,02	2,90*		
T	2	186,55	93,28	6,76**	3,63	6,23
t	2	89,16	44,58	3,23ns	3,63	6,23
Txt	4	44,43	11,11	0,81ns	3,01	4,77
Error	16	220,64	13,79			

(ns) no significativo; (*) significativo al 5%; (**) significativo al 1%.

Discusión de los resultados:

No existen diferencias significativas debidas a los bloques, es decir, no se produce un efecto real de la velocidad de secado sobre la respuesta.

Los tratamientos presentan diferencias significativas (pr. < 5%) entre las medias, haciendo la separación de éstas se puede observar que estas diferencias son debidas al efecto que produce sobre la respuesta la temperatura de secado que presenta unas diferencias altamente significativas entre sus medias (pr. < 1%)

El tiempo de residencia del material no produce diferencias significativas, sin embargo, con un F de 3,23, no se debe afirmar rotundamente que no exista un efecto real sobre la respuesta

No existe, sin embargo, un efecto real de la interacción entre el tiempo de residencia y la temperatura de secado.

En el Anexo III, se presentan las curvas de secado en las que se muestra la variación de la humedad (H' y H) a lo largo del tiempo de secado para cada ensayo:

Curva: "Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado". Ejes: Ordenadas: H' y H en %; abscisas: t (min).

5.3.3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECADO FORZADO: COMPARACIÓN CON EL PODER CALORÍFICO.

I.- RESULTADOS DE LOS BALANCES DE ENERGÍA.

Tabla 119.- Resultados de los Balances de energía para cada uno de los ensayos (CYNARA).

Ensayo	n°	Energía (cal · g ⁻¹)				
		Entrada E	Salida S	Aportada A	Utilizada U = E+A-S	Reutilizable R=S-E
V1T1t1	1	8565,85	8658,81	3750,11	3657,15	92,96
V1T1t2	2	3975,79	4067,39	1861,06	1769,46	91,60
V1T1t3	3	2198,19	2340,24	995,16	853,11	142,05
V1T2t1	4	5004,35	5165,24	1598,14	1437,25	160,89
V1T2t2	5	4015,94	4202,67	1505,24	1318,51	186,73
V1T2t3	6	1309,24	1379,81	507,08	436,51	70,57
V1T3t1	7	4762,97	4784,38	1169,91	1148,50	21,41
V1T3t2	8	2286,67	2350,31	632,20	568,56	63,64
V1T3t3	9	1523,57	1583,81	529,69	469,45	60,24
V2T1t1	10	3037,33	3373,58	1184,87	848,62	336,25
V2T1t2	11	2481,69	2628,93	1266,52	1119,28	147,24
V2T1t3	12	853,85	999,08	334,90	189,67	145,23
V2T2t1	13	2883,21	3117,24	1030,31	796,28	234,03
V2T2t2	14	1750,86	1894,81	556,83	412,88	143,95
V2T2t3	15	935,23	1082,82	409,03	261,44	147,59
V2T3t1	16	2873,44	2986,03	845,23	732,64	112,59
V2T3t2	17	2164,86	2249,40	680,98	596,44	84,54
V2T3t3	18	1975,82	2157,13	773,49	592,18	181,31
V3T1t1	19	1804,96	2079,27	834,99	560,68	274,31
V3T1t2	20	1321,32	1575,04	632,76	379,04	253,72
V3T1t3	21	575,14	718,19	319,75	176,70	143,05
V3T2t1	22	2325,20	2561,08	785,02	549,14	235,88
V3T2t2	23	1241,61	1381,74	485,63	345,50	140,13
V3T2t3	24	662,97	811,30	330,99	182,66	148,33
V3T3t1	25	2417,94	2513,79	623,50	527,65	95,85
V3T3t2	26	1226,57	1317,69	320,02	228,90	91,12
V3T3t3	27	720,28	783,12	153,61	90,77	62,84

NOTA: E = energía en la Entrada; S = energía en la Salida; A = energía Aportada; U = energía Utilizada en el secado; R = energía "Reutilizable".

La energía a la entrada (E) del secadero que es la contenida en el aire debido a su temperatura, en el “agua” del aire (debido a la humedad y a la temperatura de éste), en el sólido debido a su temperatura y en el “agua” del sólido (debido a la humedad y a la temperatura de éste).

La energía en la salida (S) del secadero que es la contenida en el aire debido a su temperatura, en el “agua” del aire (debido a la humedad y la temperatura de éste), en el sólido debido a su temperatura y en el “agua” del sólido (debido a la humedad y la temperatura de éste).

La energía Aportada (A) que es la debida al uso del ventilador para impulsar el aire y a las resistencias eléctricas para elevar la temperatura del mismo, esta energía se introduce en el secadero externamente.

Se hace notar que la energía que entra en el secadero (no incluyendo la aportada externamente) es menor que la energía que sale debido a que, de la energía que se aporta, parte es Utilizada para el secado (U) y parte para el incremento que se produce en la salida que pudiera llegar a ser reutilizable, de ahí su nombre (R).

Tabla 120.- Resultados de los balances de energía para cada uno de los factores de variación del secadero (CYNARA).

Condiciones de secado			Energía (cal · g ⁻¹)				
			Entrada E	Salida S	Aportada A	Utilizada U = E+A-S	Reutilizable R=S-E
Velocidad del aire (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	3738,06	3836,96	1394,29	1295,39	98,90
	V2	0,60	2106,25	2276,56	786,91	616,60	170,30
	V3	0,35	1366,22	1526,80	498,47	337,89	160,58
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	2757,12	2937,84	1242,23	1061,52	180,71
	T2	45	2236,51	2399,63	800,92	637,80	163,12
	T3	40	2216,90	2302,85	636,51	550,57	85,95
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	3741,69	3915,49	1313,56	1139,77	173,80
	t2	0,50	2273,92	2407,55	882,36	748,73	133,63
	t3	0,25	1194,92	1317,28	483,74	361,39	122,36

Como se puede observar en la Tabla anterior, es cuando se utiliza una velocidad media de aire (V2), una mayor temperatura (T1) y en los ensayos más largos (t1) cuando se tiene una mayor energía perdida o en su caso reutilizable.

II.- ESTUDIO ENERGÉTICO DEL SECADO FORZADO

Tabla 121.- Incremento en el poder calorífico y energía Aportada en el secado forzado (CYNARA)⁶.

Ensayo	nº	PCS (cal · g ⁻¹) inicial	PCS (cal · g ⁻¹) final	Incremento en el Poder calorífico con el secado (cal · g ⁻¹)	Energía Aportada en el secado (cal · g ⁻¹)
V1T1t1	1	3058,55	3948,59	890,04	3750,11
V1T1t2	2	2843,35	3669,14	825,79	1861,06
V1T1t3	3	3458,17	3871,42	413,25	995,16
V1T2t1	4	3140,96	3742,04	601,08	1598,14
V1T2t2	5	2954,14	3598,02	643,88	1505,24
V1T2t3	6	3224,24	3599,04	374,80	507,08
V1T3t1	7	3037,73	3661,38	623,65	1169,91
V1T3t2	8	2898,27	3166,31	268,04	632,20
V1T3t3	9	3415,83	3770,90	355,07	529,69
V2T1t1	10	2809,64	3698,55	888,91	1184,87
V2T1t2	11	3145,73	3717,99	572,26	1266,52
V2T1t3	12	2930,92	3715,30	784,38	334,90
V2T2t1	13	2826,66	3828,41	1001,75	1030,31
V2T2t2	14	3319,19	3885,88	566,69	556,83
V2T2t3	15	2931,74	3715,40	783,66	409,03
V2T3t1	16	2842,30	3276,27	433,97	845,23
V2T3t2	17	3365,32	3745,24	379,92	680,98
V2T3t3	18	3011,83	3768,57	756,74	773,49
V3T1t1	19	3226,37	3916,85	690,48	834,99
V3T1t2	20	3011,60	3870,42	858,82	632,76
V3T1t3	21	2895,11	3428,28	533,17	319,75
V3T2t1	22	3114,82	3897,86	783,04	785,02
V3T2t2	23	3003,36	3487,53	484,17	485,63
V3T2t3	24	2864,96	3342,87	477,91	330,99
V3T3t1	25	3158,05	3625,04	466,99	623,50
V3T3t2	26	3106,03	3575,26	469,23	320,02
V3T3t3	27	2680,08	2981,33	301,25	153,61

El mayor incremento en el poder calorífico debido al secado forzado, es decir, el mayor incremento en cal · g⁻¹ se produce en el ensayo V2T2t1, siendo ésta de 1001,75 cal · g⁻¹, lógicamente es el ensayo donde mayor puntos de humedad se redujeron.

⁶ PCS (cal · g⁻¹) = Poder calorífico Superior (al iniciar y al finalizar el secado) del material.
Incremento en el Poder Calorífico (debido al descenso de humedad del material).
Energía Aportada en el secado (cal · g⁻¹).

El menor incremento en el poder calorífico se produjo en el ensayo en que menos puntos de humedad se redujeron: V1T3t2 con un incremento de $268,04 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

El mayor aporte energético en los diferentes ensayos de secado varía en un intervalo que va desde $3750,11 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ para el ensayo V1T1t1 hasta un valor de $153,61 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ para el ensayo V3T3t3.

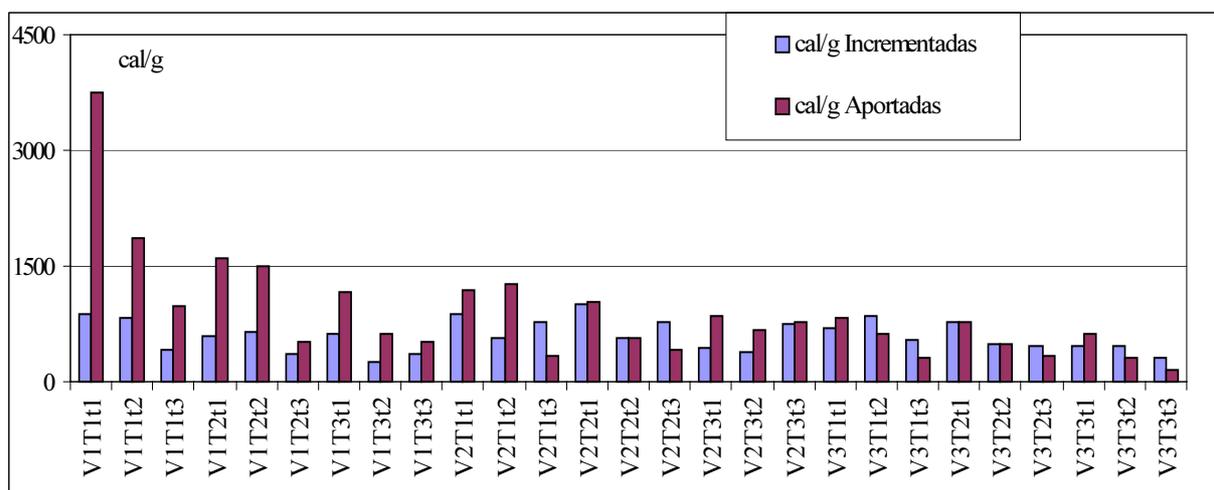


Figura 13.- Gráfico de barras donde se muestra la energía Aportada ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) durante el secado y el incremento en el Poder Calorífico Superior ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) durante el mismo, para cada ensayo (CYNARA).

Se compara la energía aportada durante el secado con el incremento que se produce en el poder calorífico del material debido a su reducción de humedad, es decir:

- Ratio incremento/aporte de energía.

Los ensayos que se pueden llamar "satisfactorios" son aquellos en que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad, es decir el ratio incremento/aporte de energía ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ incrementadas/ $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ aportadas) es mayor de 1 (Tabla 122):

Tabla 122.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada ensayo de secado (CYNARA).

Ensayo	n°	Ratio incremento/aporte de energía (cal · g⁻¹ incrementadas/cal · g⁻¹ aportadas)
V1T1t1	1	0,24
V1T1t2	2	0,44
V1T1t3	3	0,42
V1T2t1	4	0,38
V1T2t2	5	0,43
V1T2t3	6	0,74
V1T3t1	7	0,53
V1T3t2	8	0,42
V1T3t3	9	0,67
V2T1t1	10	0,75
V2T1t2	11	0,45
V2T1t3	12*	2,34
V2T2t1	13	0,97
V2T2t2	14*	1,02
V2T2t3	15*	1,92
V2T3t1	16	0,51
V2T3t2	17	0,56
V2T3t3	18	0,98
V3T1t1	19	0,83
V3T1t2	20*	1,36
V3T1t3	21*	1,67
V3T2t1	22	0,99
V3T2t2	23	0,99
V3T2t3	24*	1,44
V3T3t1	25	0,75
V3T3t2	26*	1,47
V3T3t3	27*	1,96

NOTA: el * indica los ensayos considerados como "satisfactorios" en los que la energía incrementada es mayor que la energía aportada.

Tabla 123.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada uno de los factores de variación del secadero (CYNARA).

Condiciones de secado			Ratio incremento/aporte de energía (cal · g ⁻¹ incrementadas/cal · g ⁻¹ aportadas)
Velocidad del aire (V) (m · s ⁻¹)	V1	0,85	0,47
	V2	0,60	1,06
	V3	0,35	1,27
Temperatura del aire (T) (°C)	T1	50	0,94
	T2	45	1,00
	T3	40	0,87
tiempo de residencia (t) (h)	t1	0,75	0,66
	t2	0,50	0,79
	t3	0,25	1,35

Se puede observar en la Tabla anterior que si se hacen las medias de los ratios Incremento/aporte de energía para cada uno de los factores de variación del secadero, son mayor de 1 para V2 yV3, T2 y t3.

Esto sugeriría que es a medias y bajas velocidades de aire, medias temperaturas y cortos períodos de tiempo cuando se consiguen la mayoría de los resultados considerados como “satisfactorios”.

Por otra parte el poder calorífico superior para la Cynara era:

$$PCS(H') = 4244,91 - 42,45 \cdot H' \quad (\text{Ec } 3)$$

Según esta expresión, por cada punto que se reduzca la humedad del material el poder calorífico se incrementa en 42,45 cal · g⁻¹, por lo tanto el aporte energético en el secado no deberá ser mayor a este valor, es decir, por cada punto de humedad reducido no deberá consumirse más de 49,13 Wh · kg⁻¹.

Si se observa la Tabla 124, se tiene que, dentro de los ensayos llamados "satisfactorios" (en los que el incremento del poder calorífico, al reducirse su contenido de humedad, es mayor que el aporte energético necesario para reducir esa humedad) el máximo aporte de energía por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida en el secadero es efectivamente siempre menor a 49,13 Wh · kg⁻¹.

Tabla 124.- Energía total aportada (kWh) y energía aportada por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida (CYNARA).

Ensayo	n°	Energía aportada (kWh)	Wh/°H · Ps (Wh · kg ⁻¹)
V1T1t1	1	4,8	207,08
V1T1t2	2	3,5	110,75
V1T1t3	3	1,6	118,25
V1T2t1	4	3,4	130,54
V1T2t2	5	2,5	114,84
V1T2t3	6	1,4	66,39
V1T3t1	7	2,6	92,18
V1T3t2	8	1,8	115,96
V1T3t3	9	1,2	73,16
V2T1t1	10	3,1	65,55
V2T1t2	11	2,4	108,66
V2T1t3	12*	0,9	20,99
V2T2t1	13	2,4	50,57
V2T2t2	14*	1,5	48,20
V2T2t3	15*	1,0	25,62
V2T3t1	16	1,8	95,72
V2T3t2	17	1,3	87,87
V2T3t3	18	0,8	50,32
V3T1t1	19	2,1	59,44
V3T1t2	20*	1,4	36,24
V3T1t3	21*	0,8	29,49
V3T2t1	22	1,5	49,27
V3T2t2	23	1,1	49,26
V3T2t3	24*	0,7	33,99
V3T3t1	25	1,0	65,72
V3T3t2	26*	0,7	33,52
V3T3t3	27*	0,3	25,01

NOTA: el * indica los ensayos considerados como "satisfactorios" en los que la energía incrementada es mayor que la energía aportada.

Las curvas que se presentan a continuación reflejan, para cada ensayo, el incremento de poder calorífico superior (debido al descenso de humedad) con respecto al aporte energético necesario durante el secado.

Se observará en ellas que en algunos ensayos desde el principio la energía aportada crece con mayor pendiente que el poder calorífico, eso significará que en ningún momento del secado es rentable.

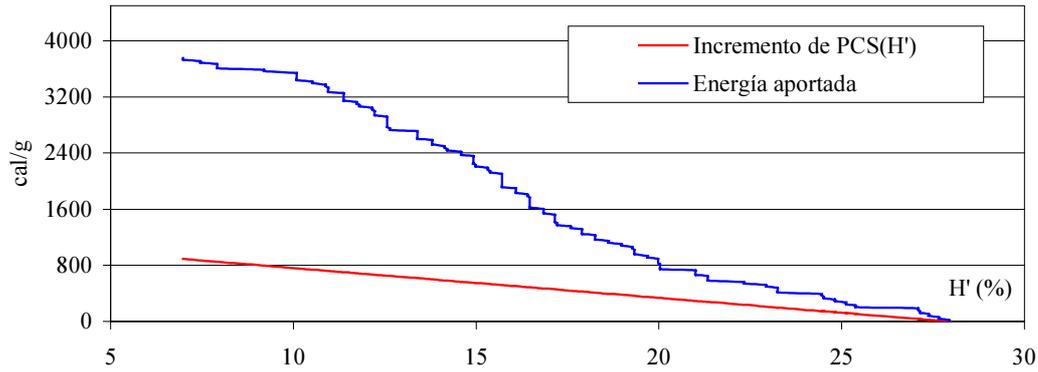
En otras curvas, el aporte energético crece con menor pendiente que el poder calorífico, en un principio, para después sobrepasarlo y dispararse, eso significará que sólo al comienzo del secado se puede conseguir que éste sea rentable energéticamente.

En otros ensayos el aporte energético crece con menor pendiente que el poder calorífico durante todo el secado, éstos serán los ensayos energéticamente rentables, pues el incremento en el poder calorífico es en todo momento superior al consumo.

Aparte se elaboraron una serie de curvas que se describen a continuación y se presentan en el Anexo IV:

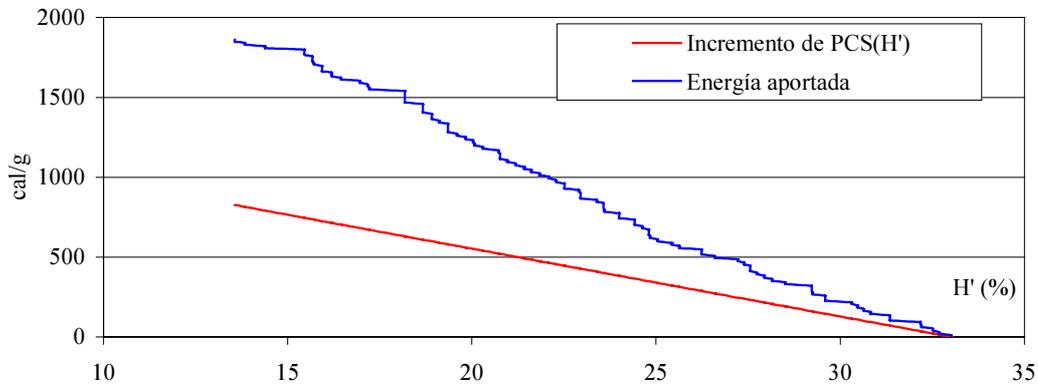
- g) Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función del tiempo de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: t (min).*
- h) Curva: “Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función de la humedad reducida en el proceso de secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' (%).*
- i) Curva: “Poder calorífico del material ($\text{PCS}(H')$) en $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ y energía aportada para su secado”. Ejes: Ordenadas: $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$; abscisas: H' (%).*

V1T1t1



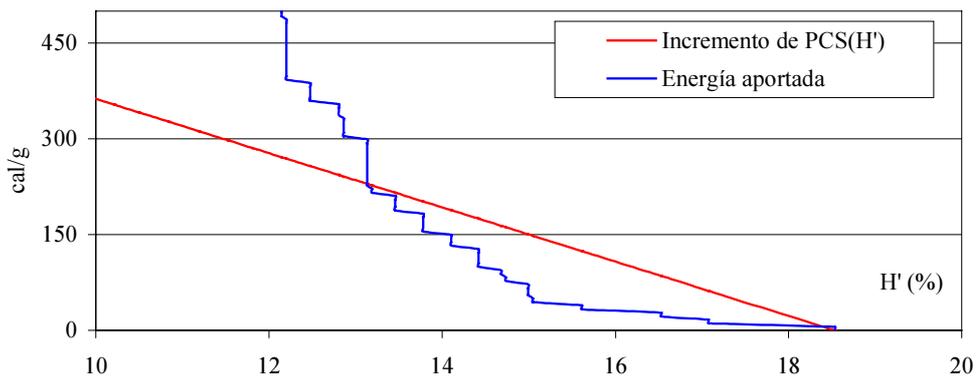
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T1t2



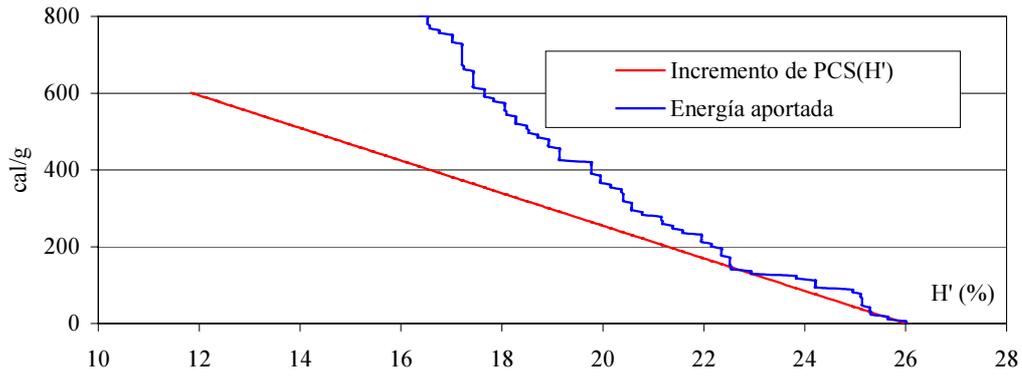
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T1t3



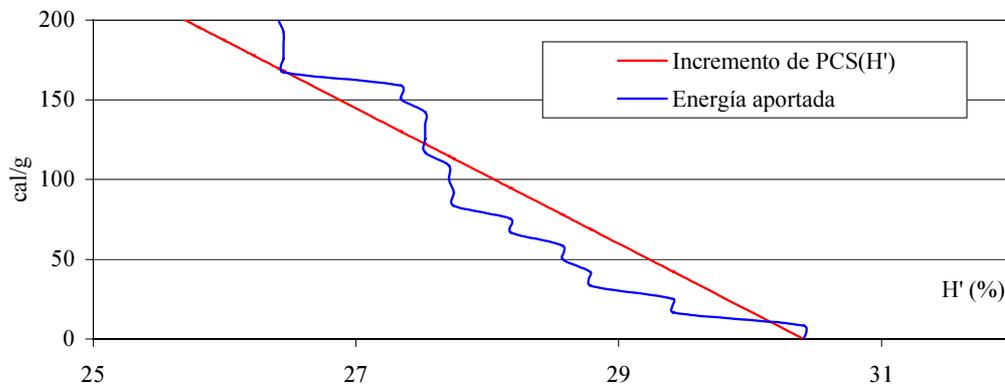
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	13,13	
H (%)	15,11	5,40

V1T2t1



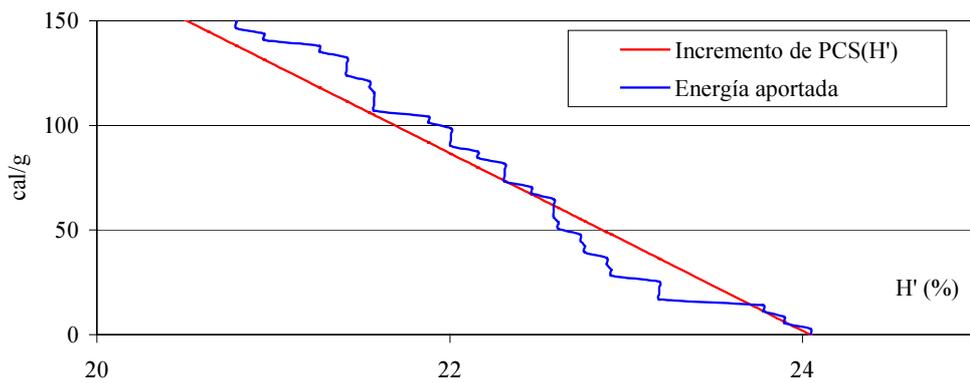
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V1T2t2



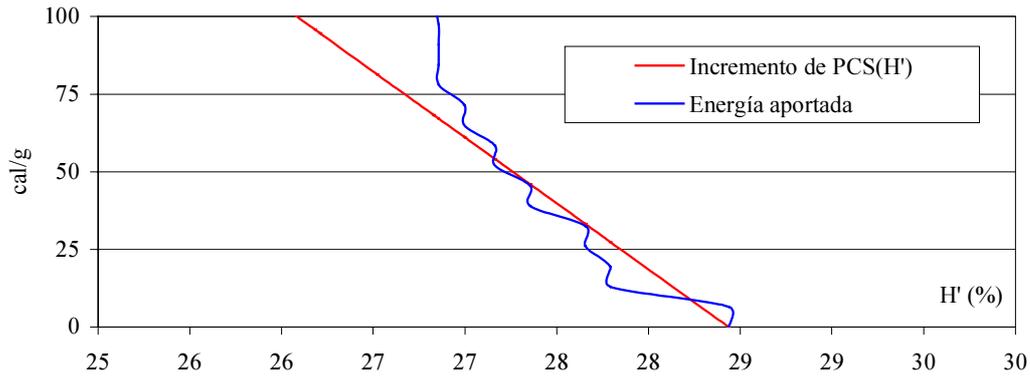
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	27,53	
H (%)	37,99	2,88

V1T2t3



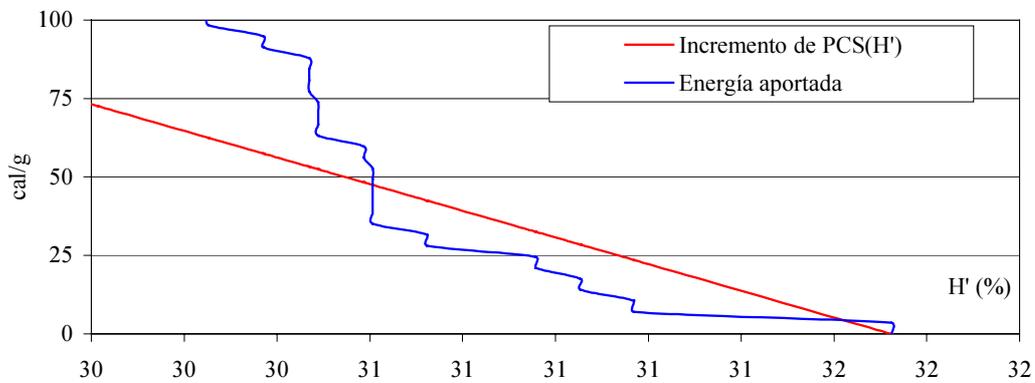
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	22,59	
H (%)	29,18	1,45

V1T3t1



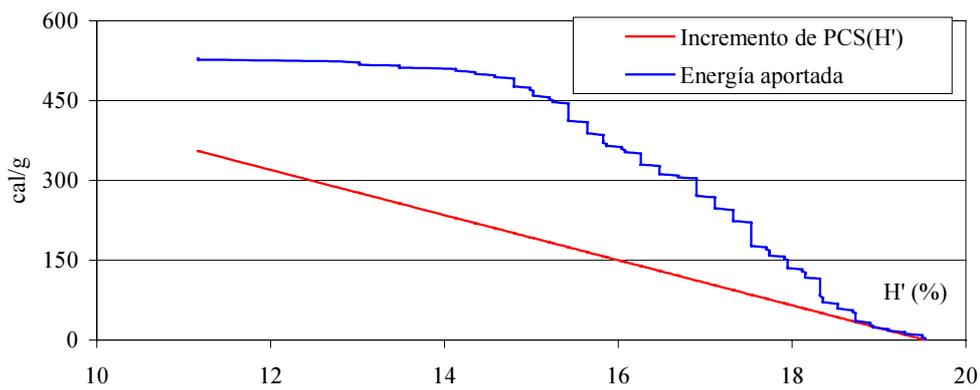
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	27,16	
H (%)	37,29	1,28
		2,00

V1T3t2



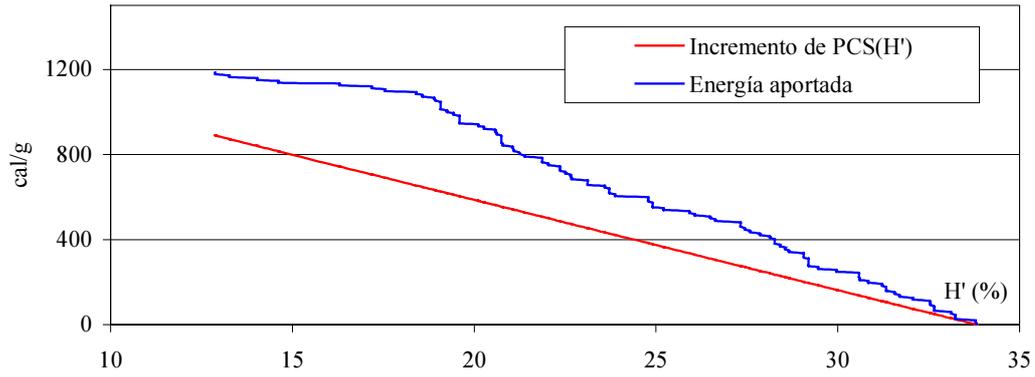
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	30,61	
H (%)	44,11	1,11
		2,17

V1T3t3



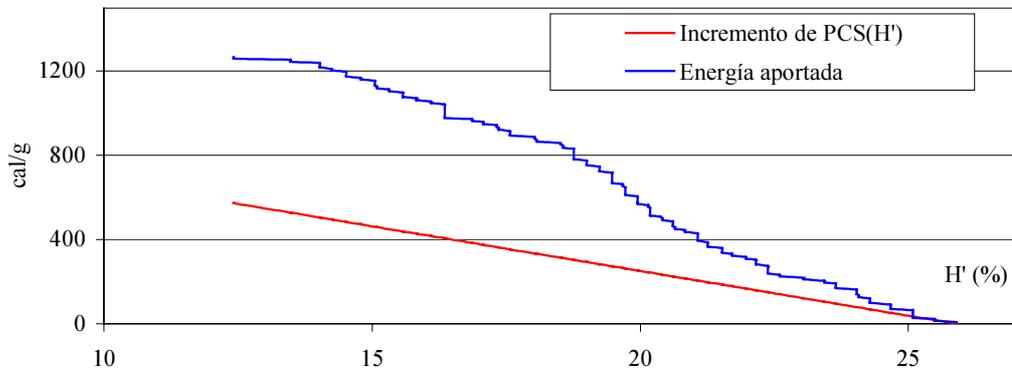
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00
		0,00

V2T1t1



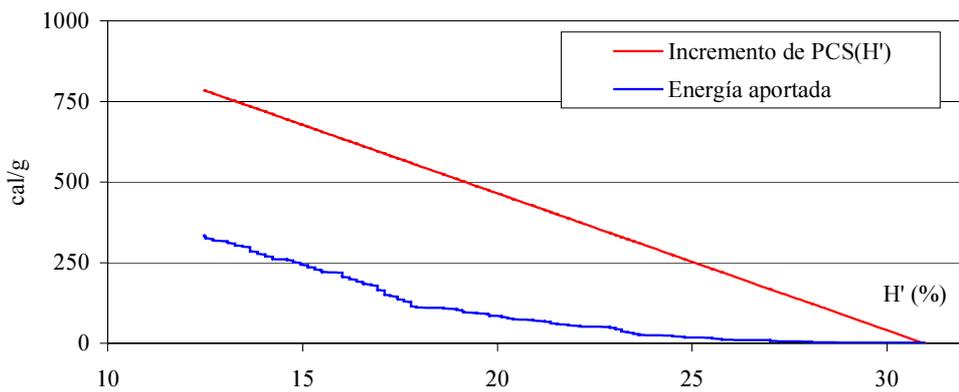
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V2T1t2

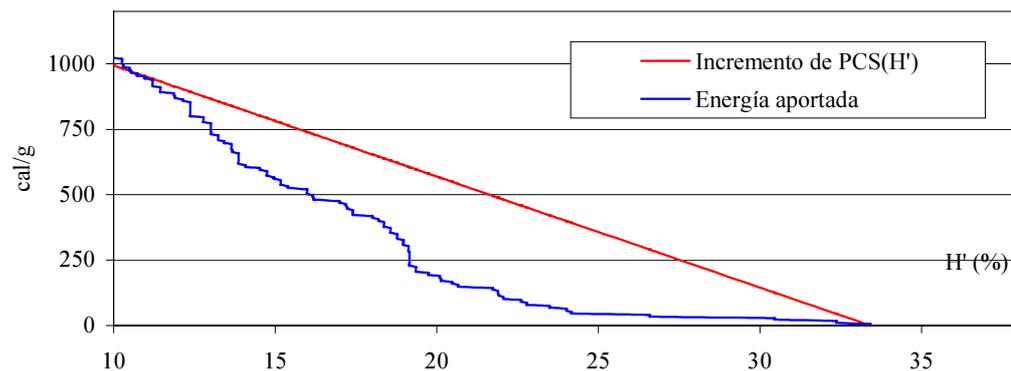


Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

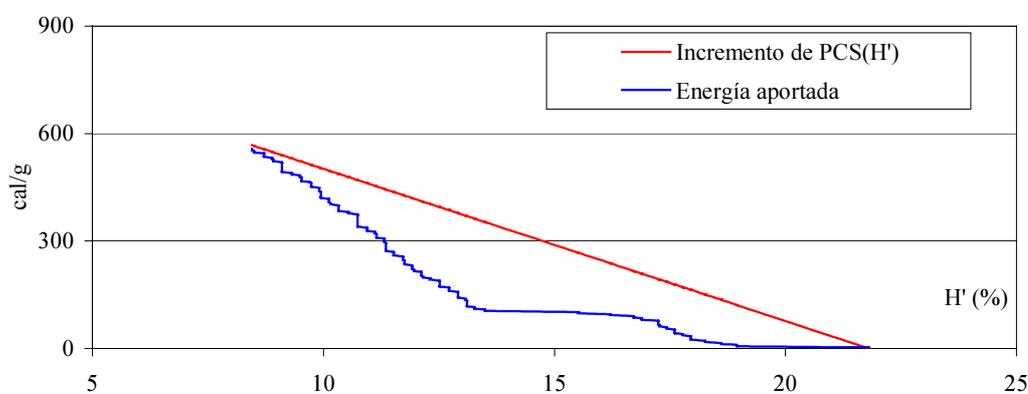
V2T1t3



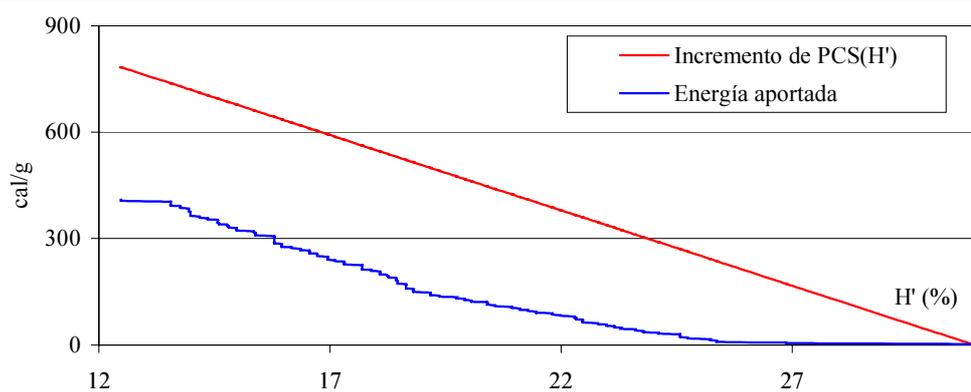
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	12,48	
H (%)	14,26	18,47

V2T2t1

Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	10,53	
H (%)	11,77	22,88
		42,25

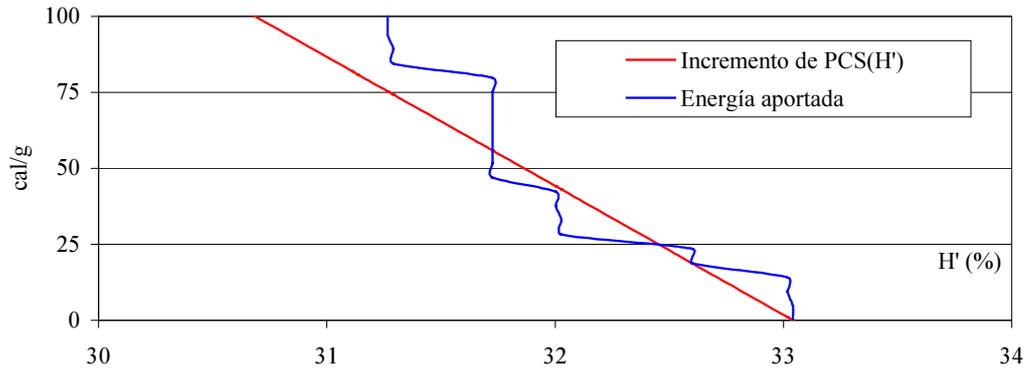
V2T2t2

Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	8,46	
H (%)	9,24	13,35
		30,00

V2T2t3

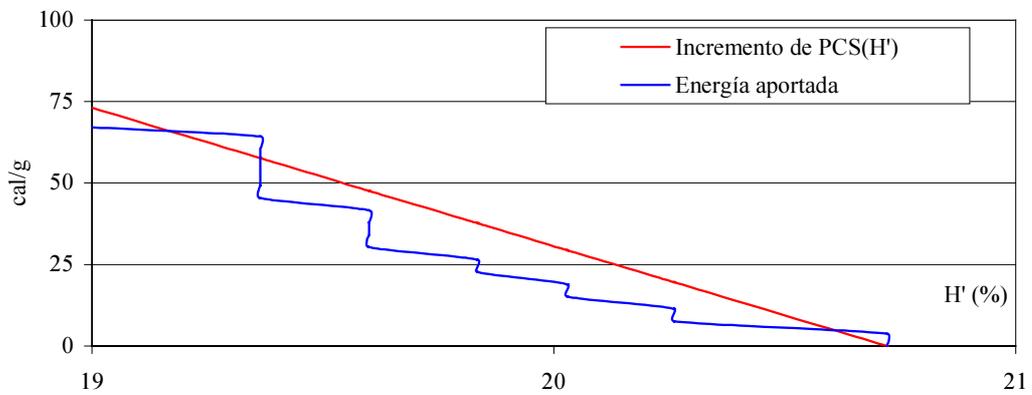
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	12,47	
H (%)	14,25	18,46
		15,00

V2T3t1



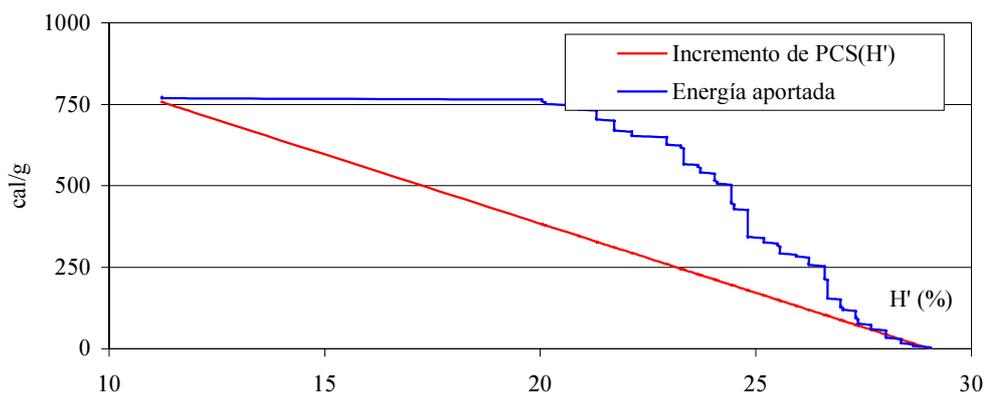
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	31,73	
H (%)	46,48	1,31
		2,75

V2T3t2



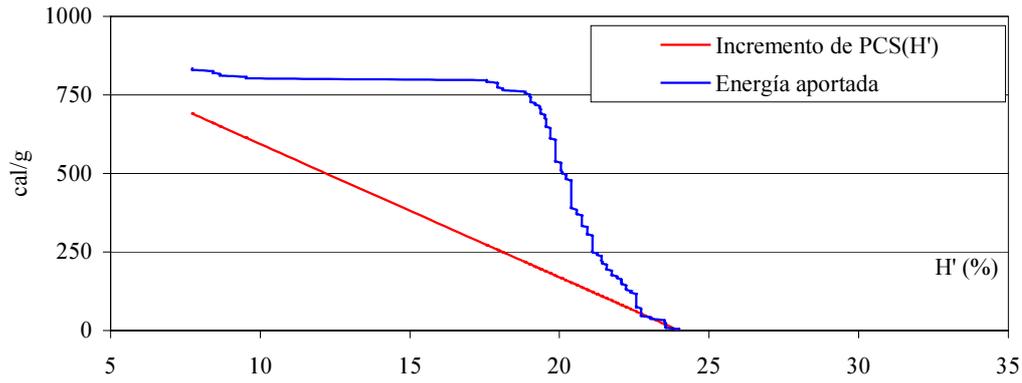
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	19,36	
H (%)	24,01	1,34
		2,50

V2T3t3



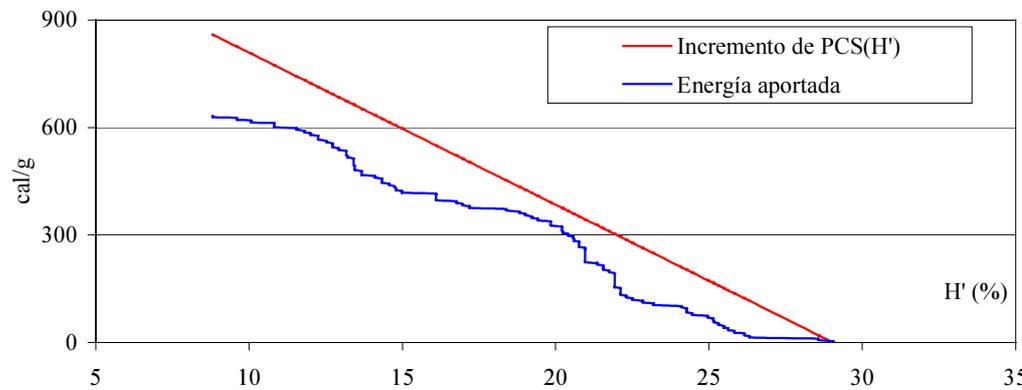
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00
		0,00

V3T1t1



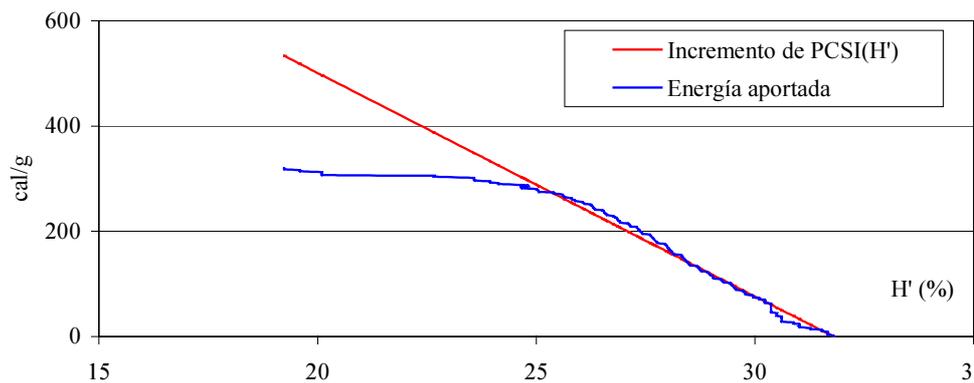
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00

V3T1t2



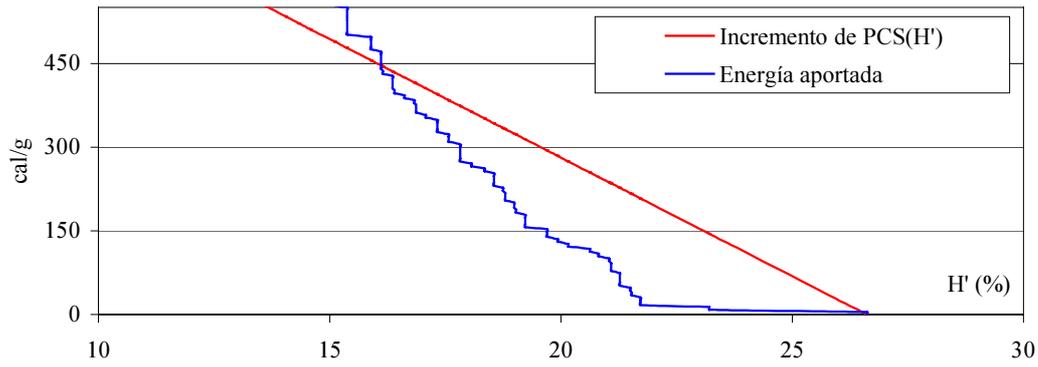
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	8,82	
H (%)	9,67	20,23
		30,00

V3T1t3



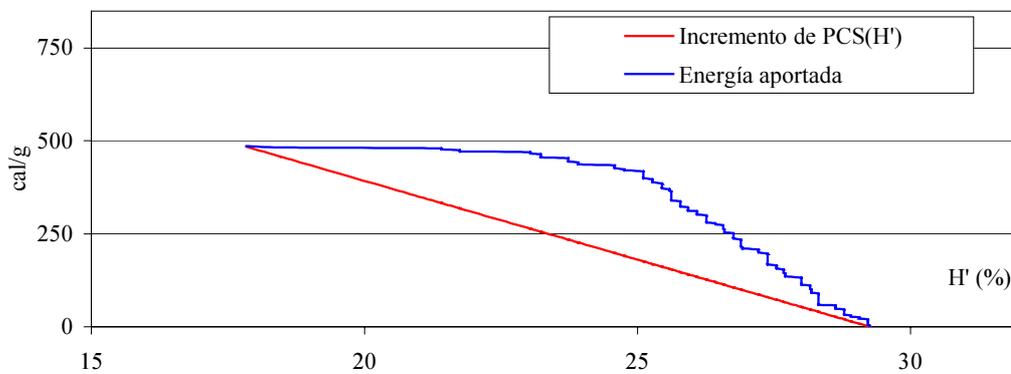
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	19,24	
H (%)	23,82	12,56
		15,00

V3T2t1



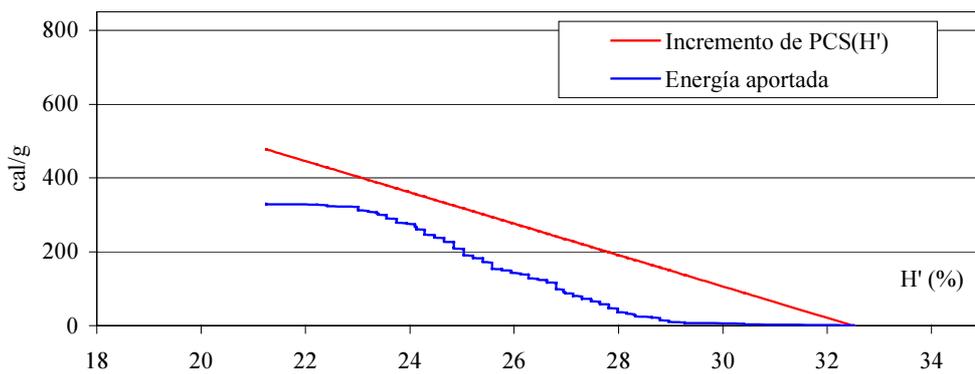
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	16,11	
H (%)	19,20	10,51
		25,50

V3T2t2



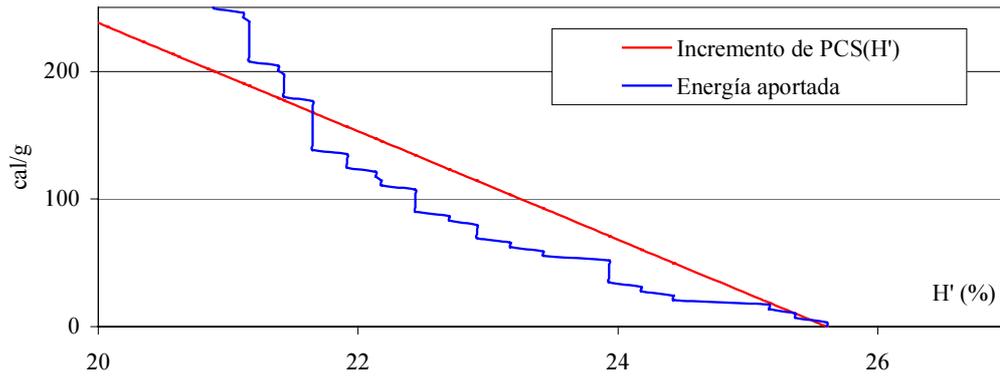
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	0,00	
H (%)	0,00	0,00
		0,00

V3T2t3



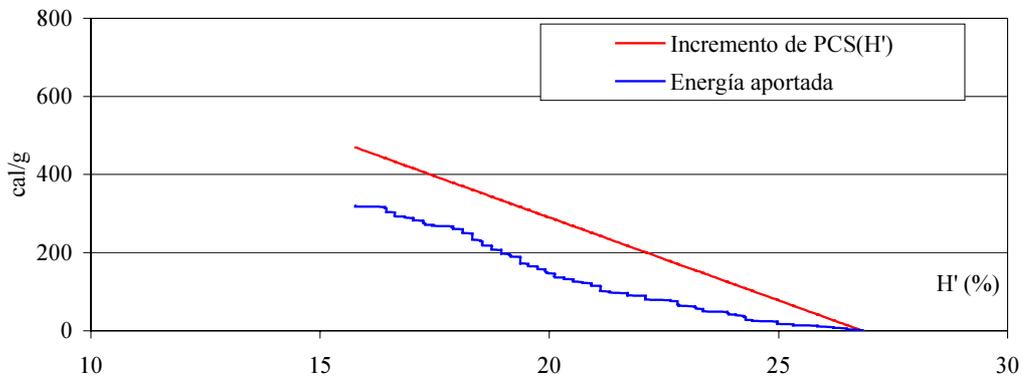
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	21,25	
H (%)	26,98	11,26
		15,00

V3T3t1



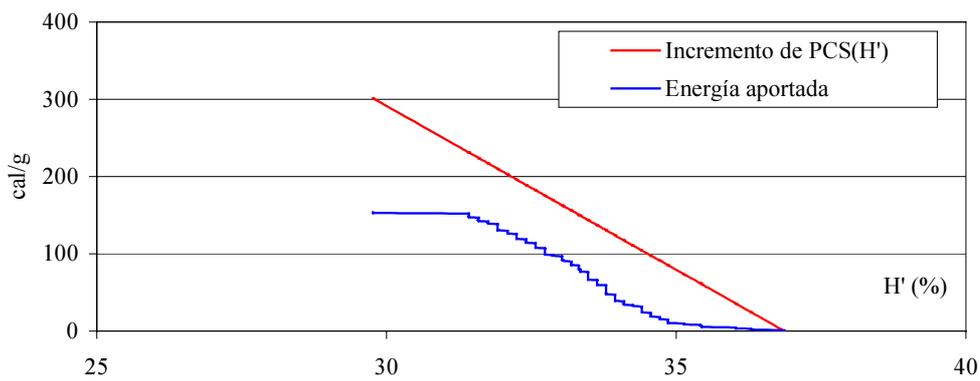
Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	21,65	
H (%)	27,63	3,95
		12,00

V3T3t2



Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	15,78	
H (%)	18,74	11,05
		30,00

V3T3t3



Humedad rebajable hasta:	Puntos de H' rebajados	t° necesario (min)
H' (%)	29,77	
H (%)	42,39	7,10
		15,00

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>las hojas</u> de los restos de maíz.....	171
Tabla 2.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>los tallos</u> de los restos de maíz.....	171
Tabla 3.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>los zuros</u> de los restos de maíz.....	172
Tabla 4.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>hojas</u> de restos de maíz.....	172
Tabla 5.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>tallos</u> de restos de maíz.....	172
Tabla 6.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>zuros</u> de restos de maíz.....	173
Tabla 7.- Poder Calorífico de <u>las hojas</u> de los restos de maíz.....	173
Tabla 8.- Poder Calorífico de <u>los tallos</u> de los restos de maíz.....	174
Tabla 9.- Poder Calorífico de <u>los zuros</u> de los restos de maíz.....	174
Tabla 10.- Análisis de varianza: estudio de la significación de las diferencias entre los resultados de poder calorífico para las distintas partes de los restos de maíz.....	175
Tabla 11.- Composición tipo de los restos de la planta de maíz.....	176
Tabla 12.- Composición real de la mezcla picada de restos de maíz preparada para la realización de las pastillas.....	176
Tabla 13.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de los restos de maíz picados.....	176
Tabla 14.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de los restos de maíz picados.....	177
Tabla 15.- Poder Calorífico de los restos de maíz picados, obtenidos por determinación en calorímetro.....	177
Tabla 16.- Poder Calorífico Superior e Inferior de los restos de maíz determinado en calorímetro y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).....	179
Tabla 17.- Ecuaciones del poder calorífico (superior e inferior) de los restos de maíz, obtenido por determinación en calorímetro.....	179
Tabla 18.- Poder Calorífico de los restos de maíz obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de las fracciones.....	180
Tabla 19.- Poder Calorífico Superior e Inferior de los restos de maíz calculado en función de los poderes caloríficos de las fracciones que los componen y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).....	182
Tabla 20.- Ecuación del poder calorífico (superior e inferior) de los restos de maíz, obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de sus fracciones.....	182
Tabla 21.- Factores de variación debidos a diferentes condiciones de secado en el secadero (MAIZ).....	183
Tabla 22.- Factor de variación debido a diferentes condiciones del material introducido en el secadero (MAIZ).....	183
Tabla 23.- Condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (MAIZ).....	184

Tabla 24.-Medias de las condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (MAIZ).	184
Tabla 25.- Resultados de los Balances de materia (balances de agua) para cada uno de los ensayos (MAIZ).	185
Tabla 26.- Resultados de los balances de agua para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).	186
Tabla 27.- Resultados directos del secado forzado (MAIZ).	187
Tabla 28.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la humedad inicial del material introducido (MAIZ).	188
Tabla 29.- Análisis de Varianza: Experimento Elemental (H) (MAIZ).	188
Tabla 30.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Velocidad del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (MAIZ).	189
Tabla 31.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (V,H) (MAIZ).	190
Tabla 32.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Temperatura del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (MAIZ).	191
Tabla 33.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (T,H) (MAIZ).	191
Tabla 34.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tiempo de residencia y la humedad inicial del material introducido (MAIZ).	193
Tabla 35.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (t,H) (MAIZ).	193
Tabla 36.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (VT) y el bloque (t) considerado (MAIZ).	195
Tabla 37.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (VT) y Bloques (t) (MAÍZ).	196
Tabla 38.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Vt) y el bloque (T) considerado (MAIZ).	197
Tabla 39.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Vt) y Bloques (T) (MAÍZ).	198
Tabla 40.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Tt) y el bloque (V) considerado (MAIZ).	199
Tabla 41.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Tt) y Bloques (V) (MAÍZ).	200
Tabla 42.- Resultados de los Balances de energía para cada uno de los ensayos (MAIZ).	203
Tabla 43.- Resultados de los balances de energía para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).	204
Tabla 44.- Incremento en el poder calorífico y energía Aportada en el secado forzado (MAIZ).	205
Tabla 45.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada ensayo de secado (MAIZ).	207
Tabla 46.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).	208
Tabla 47.- Energía total aportada (kWh) y energía aportada por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida (MAIZ).	209
Tabla 48.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) de los restos de cebada.	221
Tabla 49.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de los restos de cebada.	221
Tabla 50.- Poder Calorífico Superior de los restos de cebada.	222
Tabla 51.- Poder Calorífico Inferior de los restos de cebada.	222

<i>Tabla 52.- Poder Calorífico Superior e Inferior de los restos de cebada para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).</i>	224
<i>Tabla 53.- Ecuaciones del poder calorífico (superior e inferior) (CEBADA).</i>	224
<i>Tabla 54.- Factores de variación debidos a diferentes condiciones de secado en el secadero (CEBADA).</i>	225
<i>Tabla 55.- Factor de variación debido a diferentes condiciones del material introducido en el secadero (CEBADA).</i>	225
<i>Tabla 56.- Condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CEBADA).</i>	226
<i>Tabla 57.- Medias de las condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CEBADA).</i>	226
<i>Tabla 58.- Resultados de los Balances de materia (balances de agua) para cada uno de los ensayos (CEBADA).</i>	227
<i>Tabla 59.- Resultados de los balances de agua para cada uno de los factores de variación del secadero (CEBADA).</i>	228
<i>Tabla 60.- Resultados del secado forzado (CEBADA).</i>	229
<i>Tabla 61.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la humedad inicial del material introducido (CEBADA).</i>	230
<i>Tabla 62.- Análisis de Varianza: Experimento Elemental (H) (CEBADA).</i>	230
<i>Tabla 63.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (VT) y el bloque (t) considerado (CEBADA).</i>	231
<i>Tabla 64.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (VT) y Bloques (t) (CEBADA).</i>	232
<i>Tabla 65.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Vt) y el bloque (T) considerado (CEBADA).</i>	233
<i>Tabla 66.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Vt) y Bloques (T) (CEBADA).</i>	234
<i>Tabla 67.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Tt) y el bloque (V) considerado (CEBADA).</i>	235
<i>Tabla 68.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Tt) y Bloques (V) (CEBADA).</i>	236
<i>Tabla 69.- Resultados de los Balances de energía para cada uno de los ensayos (CEBADA).</i>	237
<i>Tabla 70.- Resultados de los balances de energía para cada uno de los factores de variación del secadero (CEBADA).</i>	238
<i>Tabla 71.- Incremento en el poder calorífico y energía Aportada en el secado forzado (CEBADA).</i>	239
<i>Tabla 72.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada ensayo de secado (CEBADA).</i>	241
<i>Tabla 73.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada uno de los factores de variación del secadero (MAIZ).</i>	242
<i>Tabla 74.- Energía total aportada y energía aportada por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida (CEBADA).</i>	243
<i>Tabla 75.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>las hojas</u> del tallo de la Cynara.</i>	255
<i>Tabla 76.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>las hojas basales</u> de la Cynara.</i>	255
<i>Tabla 77.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>los tallos y ramas</u> de la Cynara.</i>	256
<i>Tabla 78.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de <u>los capítulos</u> de la Cynara.</i>	256

Tabla 79.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>hojas del tallo</u> de la Cynara.	257
Tabla 80.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>hojas basales</u> de la Cynara.	257
Tabla 81.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>tallos y ramas</u> de la Cynara.	257
Tabla 82.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de muestras de <u>capítulos</u> de la Cynara.	258
Tabla 83.- Poder Calorífico de <u>las hojas del tallo</u> de Cynara.	258
Tabla 84.- Poder Calorífico de <u>las hojas basales</u> de Cynara.....	259
Tabla 85.- Poder Calorífico de <u>los tallos y ramas</u> de Cynara.....	259
Tabla 86.- Poder Calorífico de <u>los capítulos</u> de Cynara.....	260
Tabla 87.- Análisis de varianza: estudio de la significación de las diferencias entre los resultados de poder calorífico para las distintas partes de la planta de Cynara	260
Tabla 88.- Composición tipo de la planta de Cynara.....	261
Tabla 89.- Composición real de la mezcla picada de Cynara preparada para la realización de las pastillas.	261
Tabla 90.- Humedad en base húmeda (H') y en base seca (H) en % de la Cynara picada.....	262
Tabla 91.- Correcciones (de "ácido" y de azufre) a introducir en el calorímetro para la determinación del Poder Calorífico Superior de la Cynara picada.....	262
Tabla 92.- Poder Calorífico de la Cynara picada, obtenido por determinación en calorímetro.....	263
Tabla 93.- Poder Calorífico Superior e Inferior de la planta de Cynara determinado en calorímetro y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).	265
Tabla 94.- Ecuaciones del poder calorífico (superior e inferior) de la planta de Cynara, obtenido por determinación en calorímetro.	265
Tabla 95.- Poder Calorífico de la Cynara obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de las fracciones.....	266
Tabla 96.- Poder Calorífico Superior e Inferior de la planta de Cynara calculado en función de los poderes caloríficos de las fracciones que la componen y para distintos valores de humedad en base húmeda (H') y en base seca (H).	268
Tabla 97.- Ecuación del poder calorífico (superior e inferior) de la planta de Cynara, obtenido por cálculo en función de los poderes caloríficos de sus fracciones.....	268
Tabla 98.- Factores de variación debidos a diferentes condiciones de secado en el secadero (CYNARA).	269
Tabla 99.- Factor de variación debido a diferentes condiciones del material introducido en el secadero (CYNARA).	269
Tabla 100.- Condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CYNARA).	270
Tabla 101.-Medias de las condiciones reales en que se desarrollaron los ensayos de secado (CYNARA). 270	
Tabla 102.- Resultados de los Balances de materia (balances de agua) para cada uno de los ensayos (CYNARA).	271
Tabla 103.- Resultados de los balances de agua para cada uno de los factores de variación del secadero (CYNARA).	272
Tabla 104- Resultados directos del secado forzado (CYNARA).	273

<i>Tabla 105.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la humedad inicial del material introducido (CYNARA).</i>	274
<i>Tabla 106.- Análisis de Varianza: Experimento Elemental (H) (CYNARA).</i>	274
<i>Tabla 107.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Velocidad del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (CYNARA).</i>	275
<i>Tabla 108.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (V,H) (CYNARA).</i>	276
<i>Tabla 109.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según la Temperatura del aire de secado y la humedad inicial del material introducido (CYNARA).</i>	277
<i>Tabla 110.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (T,H) (CYNARA).</i>	277
<i>Tabla 111.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tiempo de residencia y la humedad inicial del material introducido (CYNARA).</i>	279
<i>Tabla 112.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Experimento Elemental (t,H) (CYNARA).</i>	279
<i>Tabla 113.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (VT) y el bloque (t) considerado (CYNARA).</i>	281
<i>Tabla 114.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (VT) y Bloques (t) (CYNARA).</i>	282
<i>Tabla 115.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Vt) y el bloque (T) considerado (CYNARA).</i>	283
<i>Tabla 116.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Vt) y Bloques (T) (CYNARA).</i>	284
<i>Tabla 117.- Respuesta: puntos de humedad reducidos según el tratamiento (Tt) y el bloque (V) considerado (CYNARA).</i>	285
<i>Tabla 118.- Análisis de Varianza y Prueba F Planeada: Tratamientos (Tt) y Bloques (V) (CYNARA).</i>	286
<i>Tabla 119.- Resultados de los Balances de energía para cada uno de los ensayos (CYNARA).</i>	287
<i>Tabla 120.- Resultados de los balances de energía para cada uno de los factores de variación del secadero (CYNARA).</i>	288
<i>Tabla 121.- Incremento en el poder calorífico y energía Aportada en el secado forzado (CYNARA).</i>	289
<i>Tabla 122.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada ensayo de secado (CYNARA).</i>	291
<i>Tabla 123.- Relación entre el incremento de poder calorífico superior y la energía Aportada para cada uno de los factores de variación del secadero (CYNARA).</i>	292
<i>Tabla 124.- Energía total aportada (kWh) y energía aportada por cada punto de humedad reducido y kg de materia seca introducida (CYNARA).</i>	293

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para los restos de maíz determinado en el calorímetro.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 2.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para los restos de maíz determinado en calorímetro.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 3.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para los restos de maíz en función del poder calorífico de sus fracciones.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 4.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para los restos de maíz en función del poder calorífico de sus fracciones..</i>	<i>181</i>
<i>Figura 5.- Gráfico de barras donde se muestra la energía Aportada (cal · g⁻¹) durante el secado y el incremento en el Poder Calorífico Superior (cal · g⁻¹) durante el mismo, para cada ensayo (MAIZ).....</i>	<i>206</i>
<i>Figura 6.- Poder Calorífico Superior PCS (H') y Poder Calorífico Inferior PCI (H') en base húmeda para los restos de cebada.....</i>	<i>223</i>
<i>Figura 7.- Poder Calorífico Superior PCS (H) y Poder Calorífico Inferior PCI (H) en base seca para los restos de cebada.....</i>	<i>223</i>
<i>Figura 8.- Gráfico de barras donde se muestra la energía Aportada (cal · g⁻¹) durante el secado y el incremento en el Poder Calorífico Superior (cal · g⁻¹) durante el mismo, para cada ensayo (CEBADA).....</i>	<i>240</i>
<i>Figura 9.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para la planta de Cynara determinado en el calorímetro.....</i>	<i>264</i>
<i>Figura 10.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para la planta de Cynara determinado en calorímetro.....</i>	<i>264</i>
<i>Figura 11.- Poder Calorífico Superior PCS(H') y Poder Calorífico Inferior PCI(H') en base húmeda para la planta de Cynara calculado en función del poder calorífico de sus fracciones.....</i>	<i>267</i>
<i>Figura 12.- Poder Calorífico Superior PCS(H) y Poder calorífico Inferior PCI(H) en base seca para la planta de Cynara calculado en función del poder calorífico de sus fracciones.....</i>	<i>267</i>
<i>Figura 13.- Gráfico de barras donde se muestra la energía Aportada (cal · g⁻¹) durante el secado y el incremento en el Poder Calorífico Superior (cal · g⁻¹) durante el mismo, para cada ensayo (CYNARA).....</i>	<i>290</i>

INDICE DE ECUACIONES

<i>(Ec 1).- Poder calorífico superior en función de la humedad (base húmeda) para los restos de maíz</i>	208
<i>(Ec 2).- Poder calorífico superior en función de la humedad (base húmeda) para los restos de cebada</i>	242
<i>(Ec 3).- Poder calorífico superior en función de la humedad (base húmeda) para la Cynara</i>	292

6.- Conclusiones

|

|

6.- CONCLUSIONES.

Con los ensayos realizados con el calorímetro isoperibólico se concluye que:

1. El valor de la Energía Equivalente con la que opera el calorímetro es de **2413,95 cal · °C⁻¹** teniéndose una incertidumbre en las determinaciones de Poder Calorífico Superior de **7,4 cal · g⁻¹**.

2. No existen diferencias significativas sobre la respuesta, poder calorífico superior cuando:

El peso de la “pastilla” varía en 0,3 g.

Se introduce un error de 0,08% en el contenido en azufre en la muestra.

Se introduce un error de 0,8% de contenido de nitrógeno en la muestra, éste, aun siendo el efecto más importante, resultó también no significativo.

Además, se observó que ninguno de estos tres factores interaccionaban entre sí. Por lo tanto se puede estimar el contenido de azufre (<0,1%) y de nitrógeno (<1%) en las muestras no teniendo necesidad de determinarlo previamente.

3. Se hace preciso el picado previo del material y un mezclado homogéneo del mismo para que la “pastilla tipo” tenga un volumen tal que permita la correcta combustión, con independencia del peso que posean.

4. El Poder calorífico de los restos de maíz presenta diferencias altamente significativas según la parte de la planta que se considere: hojas, tallos ó zuros.

El Poder Calorífico Superior anhidro determinado en calorímetro isoperibólico es **4293,98 cal · g⁻¹**, siendo el Poder Calorífico Inferior anhidro de **3979,61 cal · g⁻¹**.

El Poder calorífico Superior anhidro calculado como porcentaje de sus fracciones es de **4322,13 cal · g⁻¹**, siendo, en este caso, el Poder calorífico Inferior anhidro de **4007,75 cal · g⁻¹**.

5. El Poder Calorífico Superior anhidro para los restos de cebada determinado en calorímetro isoperibólico es **4253,49 cal · g⁻¹**, siendo el Poder Calorífico Inferior anhidro de **3939,11 cal · g⁻¹**.

6. El Poder calorífico de la Cynara presenta diferencias altamente significativas según la parte de la planta que se considere: hojas del tallo, hojas basales, tallos y ramas o capítulos.

El Poder Calorífico Superior anhidro determinado en calorímetro isoperibólico es **4244,91 cal · g⁻¹**, siendo el Poder Calorífico Inferior anhidro de **3930,54 cal · g⁻¹**.

El Poder calorífico Superior anhidro calculado como porcentaje de sus fracciones es de **4239,31 cal · g⁻¹**, siendo, en este caso, el Poder calorífico Inferior anhidro de **3924,94 cal · g⁻¹**.

Después de realizados los ensayos con el secadero de bandejas prototipo se concluye lo siguiente:

1. El prototipo de secadero de lúpulo utilizado para los ensayos de secado resultó ser válido para reducir la humedad de la biomasa lignocelulósica estudiada, por lo tanto su utilización estaría justificada en las épocas en que no se utilice para el secado de lúpulo.

El efecto de las condiciones de secado tuvo un efecto diferente según el material del que se trataba.

2. Para los restos de maíz:

Introducir los restos de maíz en el secadero con una humedad inicial H' tal que $42,17\% > H' > 22,07\%$ (valor medio 30,71%) produce una diferencia altamente significativa (pr. < 1%) en los puntos de humedad reducidos.

Una variación en la velocidad del aire de secado de $0,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($0,87 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} > V > 0,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) supone una diferencia significativa (pr. < 5%) en la respuesta.

Una variación en la temperatura de secado de $9,90 \text{ }^\circ\text{C}$ ($50,42^\circ\text{C} > T > 40,52^\circ\text{C}$) no produce diferencias significativas en la respuesta.

Una variación en el tiempo de residencia de 30 minutos ($45 \text{ min} > t > 15 \text{ min}$) supone una diferencia significativa (pr. < 5%) en la respuesta.

Las interacciones entre los factores, en todos los casos, no producen diferencias significativas.

3. Para los restos de cebada:

Introducir los restos de cebada en el secadero con una humedad inicial H' tal que $67,04\% > H' > 33,17\%$ (valor medio 49,12%) no produce una diferencia significativa en la respuesta.

Una variación en la velocidad del aire de secado de $0,52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($0,86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} > V > 0,34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) supone una diferencia significativa (pr. < 5%) en la respuesta.

Una variación en la temperatura de secado de 9,84 °C (50,28°C > T > 40,44 °C) no produce diferencias significativas en la respuesta.

Una variación en el tiempo de residencia de 30 minutos (45 min > t > 15 min) supone una diferencia altamente significativa (pr. < 1%) en la respuesta: puntos de humedad reducidos

Las interacciones entre los factores, en todos los casos, no producen diferencias significativas.

4. Para la *Cynara cardunculus*:

Introducir la *Cynara* en el secadero con una humedad inicial H' tal que 36,86% > H' > 18,53 % (valor medio 28,21%) produce una diferencia no significativa en la respuesta, sin embargo con un F bastante mayor de 1, se concluye que aún existiendo un efecto real de este factor no se ha detectado dentro de los niveles estudiados.

Una variación en la velocidad del aire de secado de 0,51 m · s⁻¹ (0,86 m · s⁻¹ > V > 0,35 m · s⁻¹) supone una diferencia no significativa en la respuesta.

Una variación en la temperatura de secado de 10,47 °C (50,56°C > T > 40,09°C) produce diferencias altamente significativas en la respuesta (pr. < 1%): puntos de humedad reducidos.

Una variación en el tiempo de residencia de 30 minutos (45 min > t > 15 min) supone una diferencia no significativa, pero con un F observado bastante mayor de 1, no se descarta la posibilidad de que exista un efecto real de este factor sobre la respuesta.

Las interacciones entre los factores, en todos los casos, no producen diferencias significativas.

5. Para que el secado sea energéticamente rentable se ha de conseguir que:

Para los restos de maíz el aporte energético por cada punto de humedad reducido no sea superior a **49,79 Wh** por cada kg de peso seco introducido en el secadero.

Para los restos de cebada el aporte energético por cada punto de humedad reducido no sea superior a **49,23 Wh** por cada kg de peso seco introducido en el secadero.

Para la *Cynara cardunculus* el aporte energético por cada punto de humedad reducido no sea superior a **49,13 Wh** por cada kg de peso seco introducido en el secadero.

NOTA:

El protocolo para el control permanente del calorímetro que comprende la verificación periódica y la reestandarización, en su caso, se presentan en el ANEXO I así como los estadillos de calibración y de verificación propuestos.

Las hojas (A y B) donde se reflejan las tablas para la obtención de la humedad del aire de entrada y salida del secadero y los balances de materia y energía de los ensayos de secado se presentan en el ANEXO II.

Las curvas de secado se pueden consultar en el ANEXO III.

Las curvas siguientes se pueden consultar en el ANEXOIV:

“Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función del tiempo de secado”.

“Aporte energético ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$) en función de la humedad reducida en el proceso de secado”.

“Aporte energético en el secado forzado e Incremento del poder calorífico del material debido al descenso de humedad”.

7.- Referencias Bibliográficas

|

|

7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALVAREZ NOVES, H y FERNANDEZ-GOLFÍN SECO, J.I. Aptitud de diferentes maderas de coníferas y frondosas al secado con vapor sobrecalentado (determinación del punto final de secado). Investigaciones Agrarias. Sistemas y Recursos Forestales, 1993, Vol.2 (2).

ALVAREZ NOVES, H y FERNANDEZ-GOLFÍN SECO, J.I. Desarrollo de un modelo INIA para el secado por calor solar de la madera aserrada. Monografía del Instituto Nacional de investigaciones Agrarias. Madrid, 1989.

ALVAREZ NOVES, H. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1992. 193 p. ISBN 84-7498-407-6.

ALVAREZ NOVES, H. Secado de la madera al aire. SEA,1984. 28 p.

ALVAREZ NOVES, H. y GUIJARRO, A. Variación anual de la humedad de equilibrio de la madera de uso exterior en España. Comunicaciones INIA. Serie Recursos naturales, 1984. (30). 49p.

ANTOLÍN GIRALDO, G y IRUSTA MATA, R. Caracterización de combustibles lignocelulósicos: aplicación a la paja de cereal. Valladolid: Servicio de publicaciones, Universidad, 1989. 111 p. Serie: Ingeniería nº 3. ISBN 8-7762-072-5

ANTOLÍN GIRALDO, G. et al. Caracterización de la paja de cereal como combustible. Era Solar, 1986, nº 2, p. 5-10.

ANTOLÍN, G. LÓPEZ, J.A. y SANZ, H. La paja de los cereales como alternativa energética para Castilla y León. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid, 1984. ISBN 8486.192-13-7.

ARALDE, L. E. de VAZQUEZ, D.P y CARDENAS, G.J. Metodología de cálculo de un secadero de bagazo en transporte neumático. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, 1992, Tomo 69 (1-2), p. 71-79.

ARALDE, L. E. de VAZQUEZ, D.P. TOSI, E. CARDENAS, G.J. TAPIZ, L y FEILBOGEN, E. Ecuación experimental del proceso de secado en transporte neumático de bagazo de caña de azúcar. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, 1992, Tomo 69 (1-2), p. 15-21.

ARIAS, P. L. LEGARETTA, J. A. GUTERREZ-CAÑAS, C. y MINGUITO, J. J. Procesos térmicos para la obtención de gas combustible a partir de biomasa. *Era Solar*, 1986, nº 18, p. 25-32.

BONFILL, J. Estudio de viabilidad de aprovechamiento energético de residuos forestales. Asociación de propietarios forestales del País vasco. Bilbao, 1984.

BOX GEORGE E. et al. Estadística para investigadores: Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Barcelona: Reverté, 1993.

BOYLAN, D.M. Southern company tests of wood/coal cofiring in pulverized coal units. *Biomass and bioenergy*, 1996, Vol. 10, nº 2-3, p. 139-147.

BRECEÑO BUENO, Y. Evaluación del potencial de los cultivos tradicionales en Castilla y León para la producción de biocombustibles. Serie de Ponencias: El aprovechamiento energético de los cultivos en Castilla y León. Junta CyL y EREN, Noviembre 1998, p. 169-188.

BUATAS COSTA, E. Utilización de residuos de madera como combustible industrial. Generalidad de Cataluña: Dpto. de Industria y Energía. Barcelona, 1983.

BUENO DE LAS HERAS, J.L. e IGLESIAS HUELGA, O. Cinética del secado térmico convencional. *Ingeniería Química*, Septiembre 1996, p. 433-442.

BUENO DE LAS HERAS, J.L. e IGLESIAS HUELGA, O. El secado: el secado como operación básica. *Ingeniería Química*, Enero 1993, p. 201-207.

BUENO DE LAS HERAS, J.L. e IGLESIAS HUELGA, O. Secado radiativo: secado térmico (I). *Ingeniería Química*, Septiembre 1994, p. 149-154.

BUENO DE LAS HERAS, J.L. y IGLESIAS HUELGA, O. Secado radiativo: secado dieléctrico (II). *Ingeniería Química*. Octubre 1994. p. 159-166.

BUENO DE LAS HERAS, J.L. IGLESIAS HUELGA, O y GARCÍA, A. Equilibrios de secado: diagramas de equilibrio binarios (I). *Ingeniería Química*, Mayo 1994, p. 127-132.

BUENO DE LAS HERAS, J.L. IGLESIAS HUELGA, O y GARCÍA, A. Equilibrios de secado: diagrama de equilibrio ternario (II). *Ingeniería Química*, Junio 1994, p. 171-179.

CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA. Manuales Técnicos y de Instrucción para la conservación de energía. Tomo 1.- Combustibles y su combustión. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, 1983. 138 p. ISBN 84-500-9293-0.

CIRIA, P. y GONZALEZ, E. Secado forzado de astilla forestal. Informe IER, B/O/13/92.

CIRIA, P. Secado forzado de la biomasa. Serie de Ponencias: La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria. Septiembre 1997, Tema V, Cap. 8, Ponencia 8.3.

CIRIA, P. GARCÍA, P. y GONZALEZ, E. Instalación para secado forzado de biomasa lignocelulósica. Informe IER, 1991. 84 p.

COTORUELO, L.M. CORDERO, T. y RODRIGUEZ, J. J. La biomasa como fuente de energía (I) aspectos ambientales relacionados con su producción. Era Solar, 1994, nº 62, p. 37-47.

COTORUELO, L.M.; CORDERO, T. y RODRIGUEZ, J. J. La biomasa como fuente de energía (II) conversión de la biomasa: aspectos técnicos y económicos. Era Solar, nº 63. 1994. p. 13-20.

COTORUELO, L.M. CORDERO, T. y RODRIGUEZ, J. J. La biomasa como fuente de energía (III) conversión de la biomasa con fines energéticos: aspectos ambientales. Era Solar, 1994, nº 64, p. 35-42.

DE ANDRÉS RODRIGUEZ-POMATTA, J.A. y GARCÍA GANDARA, M. Calor y frío industrial I. Madrid: Ministerio de educación y ciencia, UNED, 1983. Tomo 2.

DOAT, J. Bois et forest des tropiques: le pouvoir calorifique des bois tropicaux. 1977. p. 33-35.

ELVIRA MARTIN, L.M. y JIMENEZ PERIS, F.J. Comportamiento al fuego de materiales y estructuras. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1982. 285 p. Colección: Monografías INIA nº 37. ISBN 84-7498-109-3.

FERNÁNDEZ, J. Agroenergética: una opción alternativa de la agricultura actual. El Boletín nº 7. Mº de Agricultura Pesca y Alimentación, Sept. 1993, p. 10-18.

FERNÁNDEZ, J. Cultivos agroenergéticos, recursos y aplicaciones. Era Solar, 1998, nº 74, p. 15-18.

FERNÁNDEZ, J. Experiencias en plantaciones energéticas en España: recursos y aplicaciones. Serie de ponencias: Seminario de la energía de la biomasa y residuos. Valladolid: IDAE, 1995. p. 1-24.

FERNÁNDEZ, J. Production and utilization of *Cynara cardunculus L.* biomass for energy, paper pulp and food industry. Proyecto JOUB0030 E de la CEE (DG XII). 1990-1992.

FERNÁNDEZ, J. Cardoon (*Cynara cardunculus L.*). Renewable energy. Potencial energy crops for Europe and the Mediterranean region. FAO Technical Series n° 46, 1996, p. 43-51.

FERNÁNDEZ, J. CURT, M.D. Estimated cost of thermal power from *Cynara cardunculus* biomass in Spanish conditions. Application to electricity production. Biomass for energy environment agriculture and industry. Pergamon Press, 1995. p. 342-350.

FERNÁNDEZ, J. HIDALGO, M. DEL MONTE, J.P. CURT, M.D. Aprovechamiento del cardo (*Cynara cardunculus L.*) para la producción de biomasa lignocelulósica, aceite y forraje verde. Nuevos cultivos, nuevos usos, nuevas alternativas. Zaragoza: 1996. Vol. extra n° 17. p. 49-56.

FERNÁNDEZ, J. HIDALGO, M. SANCHEZ, G. CURT, M.D. Towards a varietal screening of *Cynara cardunculus* for oil production. Biomass for energy in industry. Proceedings de la 10ª Conferencia europea sobre biomasa. C.A.R.M.E.N. Rimpf. Alemania: 1998. p. 849-852.

FERNÁNDEZ, J. MANZANARES, P. *Cynara cardunculus L.* a new crop for oil, paper pulp and energy. Proceeding de la European conference on biomass for energy and industry. Lisboa: Elsevier. Appl. Sci, 1989, p. 1184-1189.

FERNÁNDEZ, J. MANZANARES, P. Lignocellulosic biomass production from annual energy crops. Report CEE EUR 12631. EN-C. 1990.

FERNÁNDEZ, J. MARQUEZ, L. VENTURI, P. Technical and economic aspects of *Cynara cardunculus L.*: an energy crop for the Mediterranean region. 1997. MEDIT, n° 1/97. p. 48-51.

FERNÁNDEZ, J. Cultivos energéticos para Castilla y León. Serie de Ponencias: El aprovechamiento energético de los cultivos en Castilla y León. Junta CyL y EREN. Noviembre 1998, p. 7-23.

FRAILE GUERRA, T. GARCÍA PANCHÓN, R. y SUÁREZ MOYA, J. El secado de las nuevas variedades de lúpulo. Agricultura, 1997.

G. NONHEBEL, M.A. y MOSS, A.A.H. El secado de sólidos en la industria química. Traducido por: M. Terrizano. Barcelona: Reverté, 1979. 354 p. Traducción de: *Drying of solids in the chemical industry*. ISBN 84-291-7966-6.

GASPARETO, E. instalaciones para el secado de productos agrarios. II Jornadas de deshidratación y secado de productos agrícolas y forestales. Madrid, 1988.

GIMENO PEREZ, C. Comportamiento energético de las especies forestales españolas del género *Quercus*: estudio del poder calorífico. León: Universidad, 1989. 261 p. Facultad de Biología, Tesis doctoral.

GOMEZ MORALES, S. y ARTEAGA RAMIREZ, R. Elementos básicos para el manejo de instrumental meteorológico. México: Continental, 1987. 152 p. ISBN 962-26-0755-8.

GONZALEZ IZQUIERDO, E. Origen y tipos de biomasa: biomasa residual (forestal, agrícola e industrial). Anexo: sobre caracterización. La Biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria. Instituto de estudios de la energía (IER). Septiembre, 1997. 14 p.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO ENERGÉTICO. Manual de Biomasa. Madrid: IDAE, 1993. 123 p. Cuadernos de energías renovables, 5. ISBN 84-86850-36-3

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO ENERGÉTICO. Técnicas de conservación energética en la industria. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, 1982.

IRUSTA, R y ANTOLÍN G. Determinación de poderes caloríficos de combustibles mediante análisis térmicos. Energía, Enero-febrero 1991, p. 73-81.

JIMENEZ ALCAIDE, L. y FERRER HERRANZ, J.L. Análisis térmico de residuos agrícolas. Energía, Septiembre-octubre, 1991. p. 113- 116.

JIMENEZ ALCAIDE, L. MATA MORALES, F.J. y SICILIA MOLINA, F. Procesos de conversión de biomasa residual en energía: I Procesos físico-químicos. Energía, Noviembre-diciembre, 1988. p. 131-138.

JIMENEZ GÓMEZ, S. La biomasa como fuente de energía. Química e industria, Octubre 1994, p. 696-706.

KOCH, P. Utilization of the southern pines. USDA. Agric. Forest Service Handbook n° 420 Vol II Processing, 1972. 1663 p.

KOEHLER, T. The properties and uses of wood. New York: Academic Press, 1977.

KOLLMAN, F. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. IFIE, Ministerio de Agricultura. Madrid, 1959.

KOLLMAN, F. High temperature drying. Research, application and experience in Germany. 1961. For. Prod. J. 11 (11). p. 508-515.

KOLLMAN, F. y COTÉ, W. Principles of wood science and thechnology. 1968. Vol I Solid Wood. Springer-Verlag. Berlín. 592 p.

LESKOVAR, L. El lúpulo: su cultivo y procesamiento. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur, 1978. 145 p.

LEWANDOWSKI, I. y KICHERER, A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. European Journal of Agronomy, 1997, 6, p. 163-177.

LIANG, T. KHAN, M.A. y MENG, Q. Spatial and temporal effects in drying biomass for energy. Biomass and bioenergy, 1996, Vol. 10, n° 5-6, p. 353-360.

LIEHT, H. The measurement of calorific values of biological material and the determination of ecological efficiency. Symposium de Copenhague: functioning of terrestrial ecosystems and primary production level. Paris: F.E.Eckart, 1968.

LITTLE, THOMAS M. y JACKSON HILLS, F. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México: Trillas, 1989. 270 p. Traducción de: Statistical methods in agricultural research. Reimpr. 1991. ISBN 968-24-3629.

LLANOS COMPANY, M. El maíz. Madrid: Mundi Prensa, 1984. 318 p. ISBN 84-7114-142-6.

LUCINI, M. Termodinámica aplicada. Barcelona: Labor, 1966. 300 p. Cuarta edición.

MARCOS MARTIN, F. y HERNANDO PERTIERRA, A. Consideraciones en torno al poder calorífico de las especies forestales. Zaragoza: VI Conferencia sobre planificación, ahorro y alternativas energéticas, 1986. p. 81-85. Tema gral.: Alternativas energéticas.

MARTÍN MARTÍN, A. JIMENEZ ALCIDE, L. y FERRER HERRANZ, J. L. Los tallos de girasol como fuente de energía primaria. *Era Solar*, 1987, nº 28, p. 25-30.

MENDOZA, S. Generación eléctrica a partir de biomasa. *Ingeniería Química*, Mayo 1998, p. 145-150.

MOLINA CANO, J.L. La cebada: morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. Madrid: Mundi Prensa, 1989. 252 p. ISBN 84-7114-263-5.

MORENO, R.M. PAREDES, M.A. y ASTUDILLO, J. A. Análisis experimental del secado de aserrín en lecho de chorro. *Investigaciones Agrarias. Sistemas y Recursos Forestales*, 1994, Vol.3 (1).

MOSS, A.A.H. The drying of solids: the gaps in our knowledge. *Chemistry and Industry*, junio 1965, 40.

MUÑOZ VALERO, J. A. Técnica del aire húmedo. Madrid: Universidad politécnica de Madrid, 1988. 70 p. Monografías de la Esc. Téc. Sup. de Ingenieros Agrónomos. Dpto. de Mecanización Agraria.

ORTIZ TORRES, L. Recolección, astillado y secado natural de la biomasa. Serie de Ponencias: La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria, Septiembre 1997, Tema V, Cap. 8, Ponencia 8.2.

PERAZA ORAMAS, C. Los procesos de desecación en la industria de la madera. II Jornadas de deshidratación y secado de productos agrícolas y forestales. Madrid: 1988.

PEREZ DEL NOTARIO, P. Termodinámica. Madrid: Instituto Nacional de técnica Aeroespacial "Esteban Terradas", 1966.

POVEDA CIORRAGA, M y POVEDA BAUTISTA, R. Planta de cogeneración por orujo. *Energía*, Enero-febrero 1997, p. 77-80.

RUIZ CASQUERO, L.A. Aprovechamiento del barbecho obligatorio para obtener energía. *Agricultura*, 1996, p. 607- 609.

SAASTAMOINEN, J. y IMPOLA, R. Drying of biomass particles in fixed and moving beds. *Drying Technology*, 1997, 15 (6-8), p. 1919-1929.

SANCHO, J.P. et al. Análisis térmico diferencial de hullas, lignitos y turbas. *Energía*, 1984, p. 47-55.

SHAFIZADEH, F. y DEGROOT, W.E. Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins. New York: Academic Press, 1976.

SOLER ANDRES, A. GOMEZ PEREZ, D. y RUBIO TORRES, M. Caracterización de residuos agrícolas del sureste español como biomásas energéticas. Ingeniería Química, Noviembre 1983, p. 137-143.

SOLER ANDRES, A. GOMEZ PEREZ, D. y RUBIO TORRES, M. Caracterización de residuos agrícolas del sureste español como biomásas energéticas. Ingeniería Química, Noviembre 1981, p. 73-80.

TARIQ, A.S. REUPKE, P. y SARWAR, G. Biomass combustion systems: a guide for monitoring and efficient operation. Publishing and Publicity Services, Natural Resources Institute (NRI) 1994. 61 p. ISBN 0-85954-385-4.

TILLMAN, D.A. Wood as an energy resources. New York: Academic Press, 1978. Cap. 3 y 4.

TORRES RUIZ, E. Agrometeorología. México: Diana, 1984. 150 p. ISBN 968-13-1405-0.

TORTOSA, J.F. RUBIO, M. y SOLER, A. El fraccionamiento como estrategia en el beneficio de la biomasa lignocelulósica. Ingeniería Química, Octubre 1992, p. 195-201.

TOSI, E. MASCIARELLI, R y CIAPPINI, M.C. Secado de amaranto por lecho fluidizado (Fluodinámica del lecho). Alimentaria, Diciembre 1995, p. 97-99.

TOSI, E. RE, E. y CANTADOR, E. Secado de triticale. Influencia del tiempo de residencia y temperatura final del grano en la calidad panadera. Alimentaria, Noviembre 1993, p. 59-62.

TOSI, E. RE, E; CAZZOLI, A; CATALANO, O. Secado de trigo por lecho fluidizado, cinética del secado. Alimentaria, 1985, 22 (164), p. 45-48.

TOSI, E. RE, E. y MUCCINI, S. Aplicación de la técnica del lecho fluidizado al secado de maíz por el método de secado-aireado. Alimentaria, Septiembre 1992, p. 69-73.

TOSI, E. RE, E. TAPIZ, L. y MASCIARELLI, R. Secado de trigo (*Triticum vulgare*). Influencia de la temperatura final del grano, tiempo de residencia e intensidad de secado en la modificación de la calidad panadera. Alimentaria, 1982, 19 (134), p. 77-82.

TOSI, E. y SILVESTER, S. Cinética del secado del sorgo, ecuación empírica del secado en lecho fluidizado. Alimentaria, Enero-Febrero 1995, p. 49-51.

TOSI, E. TAMBURELLI, M. y CANTADOR, R. Cinética del secado de triticale en lecho fluidizado. Alimentaria, Diciembre 1990, p. 67-70.

VILLEGAS ORTIZ DE LA TORRE, S. Especies forestales españoles: estudio de poderes caloríficos. Madrid: Universidad, 1988. 136 p. Escuela Téc. Sup. de Ingenieros de Montes, Tesis doctoral.

VOSS, G.D. Fuels and energy from renewable resources. New York: Academic Press, 1977.

Normas:

ASTM D2015-85 Gross calorific value of solid fuel by the adiabatic bomb calorimeter.

ASTM D2382-83 Heat of combustion of hydrocarbon fuels by bomb calorimeter (high-precision method).

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Definitions of the calorific values of fuels. Londres, 1961.

INTA 150229C (correspondencia con ASTM D240-68).- Calor de combustión de combustibles líquidos.

Anexo I

Protocolos de estandarización, calibración y
verificación del calorímetro.

PROTOCOLO DE ESTANDARIZACIÓN.

Objetivo.

Conocer el valor de la Energía Equivalente ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) de nuestro calorímetro y del conjunto bomba-cubeta a utilizar. El calorímetro ha de estar en el modo ESTANDARIZACIÓN.

Procedimiento de estandarización.

Se realizará la estandarización del calorímetro cuando después de una verificación con el patrón (una vez al mes) no se obtenga un valor dentro de la Tolerancia Efectiva (T_e) o en cualquier caso cada vez que se cambie una parte del mismo.

1. Comprobar que las condiciones ambientales durante la estandarización sean iguales a las condiciones ambientales normales de uso: ubicación del calorímetro, vibraciones exteriores, proximidad a fuentes de calor...etc.
2. Accionar el interruptor de puesta en marcha y presionar la tecla F1 para activar la bomba y el elemento calefactor. Dejar pasar 20 minutos para que el controlador se caliente y la temperatura de la camisa se estabilice. El indicador STAMBY se encenderá cuando la camisa del calorímetro haya alcanzado la temperatura prefijada (35°C) y se pueda comenzar con los ensayos.
3. Limpiar todas las parte de la bomba y secarlas. Depositar siempre la misma cantidad de agua destilada (1 ml) en el fondo de la bomba.
4. Preparar la muestra (1 g de ácido benzoico) depositándola en la cápsula de combustión y cargar la bomba con esta “cápsula + muestra” en el dispositivo de la tapa preparado para ello, colocando 10 cm del alambre PARR 45C10, según el manual 205M.
5. Cerrar la bomba y llenarla de O_2 , colocando el tubo en la válvula de entrada y presionando la tecla O_2 FILL. El calorímetro llenará entonces la bomba a la presión prefijada (se recomienda 450 psig \approx 30 at, en cualquier caso nunca más de 40 at) y después liberará la presión residual en el tubo al final del ciclo.
6. Llenar la cubeta con $2000 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ de agua destilada o agua del grifo con menos de $250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de sólidos disueltos. La temperatura de este agua ha de estar entre 29°C - 31°C (4°C - 6°C menos de la temperatura de la camisa del calorímetro que se ajusta a

35°C) y no variar más de $\pm 5^\circ\text{C}$ de un ensayo a otro. Para facilitar este proceso se dispone del sistema de ciclo cerrado 1563.

7. Colocar la cubeta con el agua en el interior del calorímetro y la bomba dentro de la cubeta. Introducir los electrodos en los conectores de la tapa de la bomba. Precauciones: No introducir los dedos en el agua durante esta operación para reducir errores. Los electrodos no deben interferir el trabajo del agitador que hay en la tapa del calorímetro (utilizado éste último para homogeneizar la temperatura antes de la combustión).

8. Cerrar la tapa del calorímetro y pulsar START o SHIFT START para comenzar el ensayo. El calorímetro pedirá el número de la muestra así como su peso, se introducirán estos datos y el ensayo estará en marcha.

9. Después de la ignición se producirá un pitido y el calorímetro nos indicará el valor de EE preliminar (antes de las correcciones), pulsar la tecla DONE para almacenar este dato.

10. Abrir la tapa y retirar la bomba y la cubeta, abrir la válvula de purga regulable en la bomba, para liberar el gas residual, este proceso ha de hacerse lentamente durante al menos 1 minuto para evitar pérdidas. Después retirar la tapa roscada de la bomba.

11. Recoger todos los trozos de alambre no quemados de los electrodos, estirándolos, y medir su longitud total en cm. Esta cantidad se sustrae de la total inicial (10 cm) y multiplicar este resultado por $2,3 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1}$ (para alambre PARR 45C10), ésta será la corrección de alambre a considerar, (el resto de correcciones se han considerado ya como fijas y el calorímetro las tendrá automáticamente en cuenta).

12. Pulsar la tecla RPT: el calorímetro demandará el número de muestra de la que se trate y después pedirá la corrección de alambre a tener en cuenta. Una vez introducida ésta se pulsará ENTER y ya tendremos el valor final del EE de nuestro equipo para el primer ensayo (x_{ei}).

13. Repetir esta operación hasta un total de 10 veces $n_e = 10$. Se ha de cumplir que la desviación típica relativa sea inferior al 0,15%: $\frac{s_e}{x_e} \cdot 100 \leq 0,15\%$. En caso de que no sea así el calorímetro avisará con un pitido.

PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN.

Objetivo.

Conocer la relación entre los valores de Poder Calorífico indicados por el calorímetro y el valor conocido de un patrón (ácido benzoico = $6318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$), para así calcular la incertidumbre a aplicar en las posteriores determinaciones. El calorímetro ha de estar en el modo DETERMINACIÓN.

Procedimiento de calibración.

Se realizará el calibrado del calorímetro una vez al año.

1. Los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se repiten igual que en la estandarización.
2. Después de la ignición se producirá un pitido y el calorímetro indicará el poder calorífico preliminar (antes de las correcciones) x'_{ci} , de la muestra, en este caso del patrón, pulsar la tecla DONE para almacenar este dato.
3. Abrir la tapa y retirar la bomba y la cubeta, abrir la válvula de purga regulable en la bomba, para liberar el gas residual, este proceso ha de hacerse lentamente durante al menos 1 minuto para evitar pérdidas. Después retirar la tapa roscada de la bomba.
4. Recoger todos los trozos de alambre no quemados de los electrodos, estirándolos, y medir su longitud total en cm. Esta cantidad se sustrae de la total inicial (10 cm) y multiplicar este resultado por $2,3 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1}$ (para alambre PARR 45C10), ésta será la corrección de alambre a considerar, (el resto de correcciones se han considerado ya como fijas y el calorímetro las tendrá automáticamente en cuenta).
5. Pulsar la tecla RPT, el calorímetro demandará el número de muestra de la que se trate y después pedirá la corrección de alambre a tener en cuenta. Una vez introducida ésta se pulsará ENTER y ya tendremos el valor final del poder calorífico del patrón (x_{ci}).
6. Repetir esta operación hasta un total de 10 veces: $n_c = 10$. También será aceptable el realizar sólo 5 repeticiones, en este caso habrá que incorporar un factor de corrección (ω) a la desviación típica de la media ($S_{\bar{x}}$), ésta es considerada como la incertidumbre del calorímetro en el proceso de calibración:

$$S_{\bar{x}} = \omega \cdot \frac{S_c}{\sqrt{n_c}} \quad \omega = 1.4.$$

Siendo S_c , la desviación típica de las determinaciones (ver punto 8).

7. Calcular la media aritmética de las 10 determinaciones (\bar{x}_c), o de las cinco determinaciones, si se opta por esta alternativa:

$$\bar{X}_c = \frac{1}{n_c} \cdot \sum_{i=1}^{n_c} x_{ci}$$

8. Calcular la desviación típica (S_c) de las determinaciones:

$$S_c = \sqrt{\frac{1}{n_c - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_c} (x_{ci} - \bar{x}_c)^2}$$

9. Calcular la Corrección de Calibración a aplicar en este punto (x_0):

$$C_c = x_0 - \bar{x}_c$$

10. Calcular la incertidumbre del calorímetro en el proceso de calibración (u_c), que será:

$$u_c = \sqrt{u_0^2 + \frac{S_c^2}{n_c}}; \quad \text{ó bien: } u_c = \sqrt{u_0^2 + \omega^2 \cdot \frac{S_c^2}{n_c}}, \text{ si se hacen solo 5 repeticiones.}$$

Si no se conoce u_0 (la incertidumbre del patrón):

$$u_c = \frac{S_c}{\sqrt{n_c}}; \quad \text{ó bien: } u_c = \omega \cdot \frac{S_c}{\sqrt{n_c}}; \text{ si se hacen 5 repeticiones.}$$

11. Calcular la incertidumbre del calorímetro a aplicar en las posteriores determinaciones (u), (se introduce la C_c como incertidumbre de factor $K = 3$):

$$u = \sqrt{u_c^2 + \frac{C_c^2}{3^2} + \frac{S_x^2}{n}}$$

De esta manera se calcula la incertidumbre asociada a las determinaciones, que con este calorímetro se van a realizar, para ello se tiene en cuenta:

11.1.- La incertidumbre en el proceso de calibración (u_c) debida tanto a la incertidumbre del patrón (u_0 , desconocida en nuestro caso), como a la incertidumbre

que proporciona el calorímetro en el proceso de calibración: $\frac{S_c}{\sqrt{n_c}}$ si se hacen $n_c = 10$ ensayos en el proceso de calibración ; ó bien: $\omega \cdot \frac{S_c}{\sqrt{n_c}}$; (si se hacen sólo $n_c = 5$ repeticiones).

11.2.- Ya que en este aparato no se puede introducir la Corrección de Calibración C_c , se introduce como incertidumbre, con un factor de Incertidumbre $K = 3$.

11.3.- La dispersión de las determinaciones que el calorímetro tendrá en su funcionamiento cotidiano (S_x), y que se introduce aquí como incertidumbre (generada por el calorímetro):

$$\frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

siendo $n = n^\circ$ de repeticiones en las determinaciones posteriormente. Con este calorímetro se van a hacer 2 repeticiones la mayoría de las veces.

Ésta dispersión " S_x ", muchos laboratorios de calibración acreditados la asemejan a la dispersión obtenida en el proceso de calibración " S_c ". Con este criterio se va a considerar $S_x = S_c$.

12. Posteriormente esta incertidumbre "u" se multiplica por $K = \text{Factor de Incertidumbre}$ ($K = 2$), que debe acompañar siempre a la determinación y se obtiene $U = \text{semiamplitud del intervalo de incertidumbre}$.

13. Las medidas entoces, vendrán dadas por:

$$X = \bar{x} \pm U(K = 2)$$

siendo:

\bar{x} = determinación media en los ensayos posteriores ($n = 2$).

$U (K = 2)$ = Incertidumbre obtenida en la calibración.

ESTADILLO DE CALIBRACIÓN (Cálculo de la incertidumbre en la medida): CALORÍMETRO PARR 1261.

Valor nominal del patrón (benzoico) $x_0 = 6318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

Correcciones fijas: Acido = 10 cal y Azufre = 0.

Operario:
Laboratorio:

Fecha	n° Id.	Medida en calibración x_{ci} ($n_c = 10$)	Valor convencionalmente verdadero: $\bar{x}_c = \frac{1}{n_c} \cdot \sum_{i=1}^{n_c} x_{ci} = 6.320,92$
6/02/98	12	6.317,08	Desviación típica en la calibración: $s_c = \sqrt{\frac{1}{n_c - 1} \cdot \sum (x_{ci} - \bar{x}_c)^2} = 5,39$
6/02/98	13	6.320,74	
6/02/98	14	6.322,93	
6/02/98	15	6.326,49	
9/02/98	16	6.310,40	Corrección de calibración: $Cc = x_0 - \bar{x}_c = -2,92$
9/02/98	17	6.329,31	Incertidumbre en la calibración: $u_c = \frac{s_c}{\sqrt{n_c}} = 1,71$
12/02/98	23	6.320,26	
12/02/98	25	6.324,87	
13/02/98	26	6.319,84	
13/02/98	28	6.317,23	

Incertidumbre total:

$$u = \sqrt{u_c^2 + \frac{Cc^2}{9} + \frac{s_x^2}{n}} = 3,7$$

$U = K \cdot u$ para K (factor de incertidumbre) = 2 ó 3.

$$U (K = 2) = 7,4 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}.$$

Observaciones:

$s_x = s_c$ (s_x = la desviación típica en cada ensayo posterior)

$n = 3$ (n ° de réplicas en cada ensayo posterior)

PROTOCOLO DE VERIFICACIÓN.

Objetivo.

Comprobar que la determinación del poder calorífico con el patrón elegido: ácido benzoico de $6.318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ está dentro del intervalo de Tolerancia Efectiva. El calorímetro debe estar en modo DETERMINACIÓN.

Procedimiento de verificación.

Se realizará la verificación una vez al mes.

1. Comprobar que las condiciones ambientales durante la verificación sean iguales a las condiciones ambientales normales de uso: ubicación, vibraciones exteriores, proximidad a fuentes de calor...etc.
2. Repetir los puntos 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 del procedimiento de estandarización.
3. Después de la ignición se producirá un pitido y el calorímetro nos indicará el poder calorífico preliminar (antes de las correcciones), de la muestra, en este caso del patrón, pulsar la tecla DONE para almacenar este dato.
4. Abrir la tapa y retirar la bomba y la cubeta, abrir la válvula de purga regulable en la bomba, para liberar el gas residual, este proceso ha de hacerse lentamente durante al menos 1 minuto para evitar pérdidas. Después retirar la tapa roscada de la bomba.
5. Recoger todos los trozos de alambre no quemados de los electrodos, estirándolos, y medir su longitud total en cm. Esta cantidad se sustrae de la total inicial (10 cm) y multiplicar este resultado por $2,3 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1}$ (para alambre PARR 45C10), ésta será la corrección de alambre a considerar, (el resto de correcciones se han considerado ya como fijas y el calorímetro las tendrá automáticamente en cuenta).
6. Pulsar la tecla RPT, el calorímetro demandará el número de muestra de la que se trate y después pedirá la corrección de alambre a tener en cuenta. Una vez introducida ésta se pulsará ENTER y ya tendremos el primer valor final del poder calorífico del patrón (x_1).
7. Repetir la misma operación para obtener una segunda lectura del poder calorífico (x_2)
8. Con los dos valores obtenidos se hace la media y así se obtiene: \bar{X} , considerado como el valor convencionalmente verdadero y que habrá de cumplir:

$$\bar{X} = x_0 \pm T_e/2.$$

siendo:

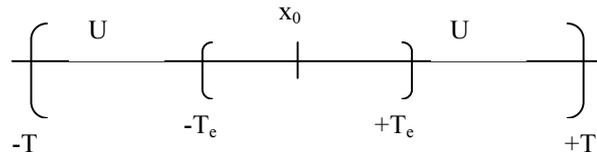
\bar{X} = Valor medio de las dos repeticiones efectuadas en la verificación ($n_v = 2$).

x_0 = Valor del patrón considerado ($6.318 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$).

T_e = Tolerancia efectiva = $T - 2 \cdot U$ ($K=2$).

T = Tolerancia especificada a verificar = $30 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$.

U = Incertidumbre hallada en la calibración previa ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$).



9. Si el poder calorífico del patrón hallado en la verificación: (\bar{X}), está dentro del intervalo de Tolerancia Efectiva (T_e), el equipo, teniendo en cuenta su Incertidumbre (U), permite garantizar que el calorímetro está todavía estandarizado y la EE con la que opera es la correcta pues sus determinaciones se encuentran dentro del intervalo de tolerancia (T).

10. Si por el contrario esta lectura no está dentro del intervalo de la Tolerancia Efectiva, no se puede garantizar que el calorímetro continua estandarizado y se procederá de la siguiente forma:

Bien realizar más de dos determinaciones en los ensayos posteriores, entonces $n \neq 2$, recalculando la Incertidumbre que será menor y de esta forma conseguir que el intervalo de Tolerancia Efectiva sea mayor, o bien, reestandarizar el calorímetro, obteniendo una nueva EE más exacta y adecuada a las nuevas condiciones del calorímetro.

Se tendrá un estadillo de verificación (según modelo adjunto), para tener constancia de cada una de las verificaciones realizadas.

PROTOCOLO DE REESTANDARIZACIÓN.

Objetivo.

Recalcular una nueva Energía Equivalente ($\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), para el calorímetro, cuando en la verificación mensual se resuelva que no existe suficiente garantía de que el calorímetro sigue estandarizado. Modo de operación ESTANDARIZACIÓN.

Procedimiento de reestandarización.

Siguiendo la norma ASTM D2015, se procedería del siguiente modo:

1. Hacer un ensayo (con benzoico), se obtiene así un valor de EE nuevo (y fruto de un solo ensayo), que se denominará como EE_1 . Si este valor varía con respecto al viejo EE (que es media de los diez ensayos que en su día se hicieron) en $\pm 3,36 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, sería sospechoso, pero no desechar todavía el viejo EE.
2. Realizar un nuevo ensayo (con benzoico y en modo estandarización), se obtendrá un segundo valor de EE, la diferencia entre los dos nuevos valores no debe ser superior a $4,48 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ y la media de estos dos nuevos ensayos (que se denominará como EE_2), no debe diferir del antiguo valor de EE en más del $\pm 2,24 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera no desechar todavía el viejo valor de EE.
3. Realizar dos ensayos más de tal forma que la máxima diferencia entre estos 4 nuevos valores sea de $7,84 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, y la diferencia de la media de los 4 nuevos ensayos (que se denominará como EE_4) con la media vieja (EE), no será mayor de $\pm 1,68 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera desechar todavía el viejo valor de EE.
4. Realizar dos ensayos más de tal forma que la máxima diferencia entre estos 6 nuevos valores sea de $9,52 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, y la diferencia de la media de los 6 nuevos ensayos (que se denominará como EE_6) con la media vieja (EE), no será mayor de $\pm 1,12 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera no desechar todavía el viejo valor de EE.
5. Realizar 4 ensayos más de tal forma que la máxima diferencia entre estos 10 nuevos valores sea de $11,2 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, y la diferencia de la media de los 10 nuevos ensayos (que se denominará EE_{10}) con la media vieja (EE), no será mayor de $\pm 0,56 \text{ cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Si esto no ocurriera, desechar el viejo valor de EE y EE_{10} , será el nuevo valor de la Energía Equivalente del equipo.

Todo este proceso queda resumido en la siguiente tabla:

$x_i = n^\circ$ de ensayos	Valores obtenidos EE_i	Máx.rango entre x_i realizados: $\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	Máx diferencia entre la media vieja y la nueva media hallada EE_i : $\text{cal} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
1	EE_1	-	$EE - EE_1 = \pm 3,36$
2	EE_2	4,48	$EE - EE_2 = \pm 2,24$
4	EE_4	7,84	$EE - EE_4 = \pm 1,68$
6	EE_6	9,52	$EE - EE_6 = \pm 1,12$
10	EE_{10}	11,20	$EE - EE_{10} = \pm 0,56$

Anexo II

Tablas para la obtención de la humedad del aire de secado y Balances de agua y energía.

Restos de Maíz.

h	818,00 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,08 °C
p2 =	693,15 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	34,25 %
T(amb)se =	27,08 °C
E =	26,61 mmHg
e =	9,11 mmHg
H's =	0,008192 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge=	0,008259 g vapor agua/g aire seco
Ha=	8,78 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Salida

HRgs =	16,00 %
Tgs =	49,80 °C
E =	66,81 mmHg
Pr=	12,30 °C
e =	10,69 mmHg
H's =	0,009608 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs=	0,009701 g vapor agua/g aire seco
Ha=	11,32 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,15

Clave	V1T1t1
Fecha	02-dic-99
Inicio	13:52:00
Fin	14:37:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	16,62	Materia	V	m/s	16,62
		G	g air seco	604766,49		G	g air seco	604766,49
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008259	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009701
	Temperatura	Tge	°C	50,63	Temperatura	Tgs	°C	49,80
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4652		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4649
		Le(Tge)	cal/g ag	571,31		Le(Tgs)	cal/g ag	571,89

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1980,00	Materia	Sh	g sol humedo	1229,60
		Ss	g sol seco	1145,00		Ss	g sol seco	1145,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4217	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0688
	Temperatura	Tse	°C	27,08	Temperatura	Tss	°C	39,75
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4577		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4617

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	10302135,88	8997,50		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	10955349,40	9567,99		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	5,50	4150,22	92,23	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		3579,73	79,55	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		570,49	12,68	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	5829,88
Sale (S):	g agua
	5951,63
Perdidas (P):	g agua
	-121,74

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,73 °C
p2 =	693,29 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	41,50 %	
T(amb)se =	27,73 °C	
E =	27,62 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	11,46 mmHg	
H's =	0,010300 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,010407 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,02 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,42 %	
Tgs =	47,70 °C	
E =	84,95 mmHg	
Pr=	15,35 °C	
e =	13,10 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011772 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011912 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	13,87 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,29

Clave	VIT1t2
Fecha	14-oct-99
Inicio	11:20:00
Fin	11:50:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,34	Materia	V	m/s	15,34
		G	g air seco	371335,51		G	g air seco	371335,51
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,010407	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011912
	Temperatura	Tge	°C	50,50	Temperatura	Tgs	°C	47,70
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4652		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4643
		Le(Tge)	cal/g ag	571,40		Le(Tgs)	cal/g ag	573,35

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3082,00	Materia	Sh	g sol humedo	2553,97
		Ss	g sol seco	2307,00		Ss	g sol seco	2307,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2515	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0967
	Temperatura	Tse	°C	27,73	Temperatura	Tss	°C	26,75
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4579		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4576

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6806725,50	2950,47		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	7119546,22	3086,06		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,60	1348,24	44,94	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1212,65	40,42	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		135,60	4,52	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4639,63
Sale (S):	g agua
	4670,35
Perdidas (P):	g agua
	-30,71

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	21,08 °C
p2 =	691,85 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	56,75 %	
T(amb)se =	21,08 °C	
E =	18,50 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,50 mmHg	
H's =	0,009454 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009544 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,32 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	16,89 %	
Tgs =	45,05 °C	
E =	70,69 mmHg	
Pr=	14,08 °C	
e =	11,94 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010752 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010869 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,64 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,85

Clave	VIT1t3
Fecha	25-oct-99
Inicio	13:50:00
Fin	14:05:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	14,45	Materia	V	m/s	14,45
		G	g air seco	175045,18		G	g air seco	175045,18
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009544	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010869
	Temperatura	Tge	°C	49,84	Temperatura	Tgs	°C	45,05
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4649		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4634
		Le(Tge)	cal/g ag	571,86		Ls(Tgs)	cal/g ag	575,19

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2261,00	Materia	Sh	g sol humedo	1746,37
		Ss	g sol seco	1468,00		Ss	g sol seco	1468,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3507	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1594
	Temperatura	Tse	°C	21,08	Temperatura	Tss	°C	26,85
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4557		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4576

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3094434,87	2107,93		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3230518,64	2200,63		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,00	1177,11	78,47	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1084,41	72,29	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		92,70	6,18	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2463,66
Sale (S):	g agua
	2180,87
Perdidas (P):	g agua
	282,79

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	25,83 °C
p2 =	692,88 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	47,00 %
T(amb)se =	25,83 °C
E =	24,69 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
e =	11,60 mmHg
H's =	0,010434 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,010544 g vapor agua/g aire seco
Ha=	11,22 g vapor agua/m ³ aire

Salida

HRgs =	17,01 %
Tgs =	45,53 °C
E =	73,43 mmHg
Pr=	14,64 °C
e =	12,49 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011230 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,011358 g vapor agua/g aire seco
Ha=	13,22 g vapor agua/m ³ aire

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,88

Clave	VIT2t1
Fecha	26-oct-99
Inicio	12:42:00
Fin	13:27:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	16,11	Materia	V	m/s	16,11
		G	g air seco	584883,33		G	g air seco	584883,33
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,010544	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011358
	Temperatura	Tge	°C	45,77	Temperatura	Tgs	°C	45,53
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4636
		Le(Tge)	cal/g ag	574,69		Ls(Tgs)	cal/g ag	574,86

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2788,00	Materia	Sh	g sol humedo	2125,68
		Ss	g sol seco	1962,00		Ss	g sol seco	1962,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2963	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0770
	Temperatura	Tse	°C	25,83	Temperatura	Tss	°C	32,70
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4573		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4595

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	10087813,79	5141,60		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	10612960,09	5409,26		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	4,70	2069,72	45,99	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1802,07	40,05	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		267,66	5,95	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	6992,95
Sale (S):	g agua
	6806,67
Perdidas (P):	g agua
	186,28

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,90 °C
p2 =	692,68 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	35,50 %	
T(amb)se =	24,90 °C	
E =	23,41 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,31 mmHg	
H's =	0,007475 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007531 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,06 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,99 %	
Tgs =	42,55 °C	
E =	62,60 mmHg	
Pr=	11,34 °C	
e =	10,01 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009003 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009085 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,60 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,68

Clave	V1T2t2
Fecha	02-dic-99
Inicio	12:32:00
Fin	13:02:00

ENTRA				SALE				
	Ud.				Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	16,84	Materia	V	m/s	16,84
		G	g air seco	408809,89		G	g air seco	408809,89
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007531	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009085
	Temperatura	Tge	°C	45,89	Temperatura	Tgs	°C	42,55
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4637		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4626
		Le(Tge)	cal/g ag	574,61		Ls(Tgs)	cal/g ag	576,93

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2460,00	Materia	Sh	g sol humedo	1856,55
		Ss	g sol seco	1623,00		Ss	g sol seco	1623,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3402	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1258
	Temperatura	Tse	°C	24,90	Temperatura	Tss	°C	28,05
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4570		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4580

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6332966,47	3902,01		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6618994,60	4078,25		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,20	1703,51	56,78	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1527,28	50,91	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		176,23	5,87	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3915,66
Sale (S):	g agua
	3947,50
Perdidas (P):	g agua
	-31,84

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	20,93 °C
p2 =	691,82 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	50,75 %	
T(amb)se =	20,93 °C	
E =	18,39 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,33 mmHg	
H's =	0,008405 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008476 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,18 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	19,97 %	
Tgs =	41,67 °C	
E =	57,89 mmHg	
Pr=	13,54 °C	
e =	11,56 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010410 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010520 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,24 g vapor agua/m ³ aire	

Restos de Maíz

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,82

Clave	V1T2t3
Fecha	29-nov-99
Inicio	13:16:00
Fin	13:31:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	15,50	Materia	V	m/s	15,50
		G	g air seco	187963,65		G	g air seco	187963,65
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008476	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010520
	Temperatura	Tge	°C	45,58	Temperatura	Tgs	°C	41,67
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4623
		Le(Tge)	cal/g ag	574,82		Ls(Tgs)	cal/g ag	577,54

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2161,00	Materia	Sh	g sol humedo	1670,06
		Ss	g sol seco	1476,00		Ss	g sol seco	1476,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3170	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1162
	Temperatura	Tse	°C	20,93	Temperatura	Tss	°C	25,40
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4557		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4571

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3009881,53	2039,22		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3262034,30	2210,05		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,70	995,12	66,34	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		824,29	54,95	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		170,84	11,39	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2278,14
Sale (S):	g agua
	2171,36
Perdidas (P):	g agua
	106,78

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	21,58 °C
p2 =	691,96 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,75 %	
T(amb)se =	21,58 °C	
E =	19,07 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,39 mmHg	
H's =	0,006653 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006698 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,25 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	17,60 %	
Tgs =	38,06 °C	
E =	49,09 mmHg	
Pr=	9,11 °C	
e =	8,64 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007779 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007840 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,15 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,96

Clave	VIT3t1
Fecha	07-dic-99
Inicio	12:27:00
Fin	13:12:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,49	Materia	V	m/s	15,49
		G	g air seco	564522,45		G	g air seco	564522,45
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006698	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007840
	Temperatura	Tge	°C	40,61	Temperatura	Tgs	°C	38,06
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4620		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4612
		Le(Tge)	cal/g ag	578,28		Le(Tgs)	cal/g ag	580,05

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2162,00	Materia	Sh	g sol humedo	1546,22
		Ss	g sol seco	1425,00		Ss	g sol seco	1425,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3409	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0784
	Temperatura	Tse	°C	21,58	Temperatura	Tss	°C	26,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4559		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4575

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco			
	7739692,55	5431,36			
Sale (S):	cal	cal/g sol seco			
	8021014,23	5628,78			
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min		
	3,90	2364,63	52,55	A=S-E+U=R+U	
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min		
		2167,21	48,16	U=E+A-S	
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min		
		197,42	4,39	R=S-E	

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	
	4518,02	
Sale (S):	g agua	
	4547,03	
Perdidas (P):	g agua	
	-29,01	

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	18,10 °C
p2 =	691,19 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	41,25 %	
T(amb)se =	18,10 °C	
E =	15,48 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	6,39 mmHg	
H's =	0,005756 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,005789 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	6,34 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,37 %	
Tgs =	38,53 °C	
E =	50,73 mmHg	
Pr=	6,57 °C	
e =	7,29 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,006571 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,006614 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,72 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,19

Clave	V1T3t2
Fecha	07-dic-99
Inicio	9:01:00
Fin	9:31:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	15,17	Materia	V	m/s	15,17	
		G	g air seco	368906,56		G	g air seco	368906,56	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,005789	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,006614	
	Temperatura	Tge	°C	40,26	Temperatura	Tgs	°C	38,53	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4613	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,52		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,72	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2185,00	Materia	Sh	g sol humedo	1763,30
		Ss	g sol seco	1618,00		Ss	g sol seco	1618,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2595	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0824
	Temperatura	Tse	°C	18,10	Temperatura	Tss	°C	27,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4548		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4578

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	4829693,37	2984,98		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	5048086,96	3119,95		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,00	1601,98	53,40	$A=S-E+U=R+U$
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1467,00	48,90	$U=E+A-S$
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		134,98	4,50	$R=S-E$

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2702,56
Sale (S):	g agua
	2585,35
Perdidas (P):	g agua
	117,20

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	20,48 °C
p2 =	691,72 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,75 %
T(amb)se =	20,48 °C
E =	17,95 mmHg
e =	6,96 mmHg
H's =	0,006265 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,006304 g vapor agua/g aire seco
Ha=	6,85 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Salida

HRgs =	18,83 %
Tgs =	36,62 °C
E =	45,57 mmHg
Pr=	9,02 °C
e =	8,58 mmHg
H's =	0,007728 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,007788 g vapor agua/g aire seco
Ha=	9,08 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,72

Clave	VIT3t3
Fecha	07-dic-99
Inicio	10:16:00
Fin	10:31:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,48	Materia	V	m/s	15,48
		G	g air seco	188126,23		G	g air seco	188126,23
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006304	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007788
		Tge	°C	40,51		Tgs	°C	36,62
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2382
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4620		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4607
		Le(Tge)	cal/g ag	578,35		Ls(Tgs)	cal/g ag	581,05
Parámetros				Parámetros				

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2062,00	Materia	Sh	g sol humedo	1674,47
		Ss	g sol seco	1430,00		Ss	g sol seco	1430,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3065	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1460
		Tse	°C	20,48		Tss	°C	23,90
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4556		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4566
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2540192,28	1776,36		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2691721,42	1882,32		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,30	785,45	52,36	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		679,49	45,30	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		105,96	7,06	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1817,97
Sale (S):	g agua
	1709,56
Perdidas (P):	g agua
	108,41

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,20 °C
p2 =	692,53 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,25 %
T(amb)se =	24,20 °C
E =	22,45 mmHg
e =	9,49 mmHg
H's =	0,008533 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,008606 g vapor agua/g aire seco
Ha=	9,22 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Salida

HRgs =	15,40 %
Tgs =	47,04 °C
E =	78,51 mmHg
Pr=	14,20 °C
e =	12,09 mmHg
H's =	0,010876 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,010996 g vapor agua/g aire seco
Ha=	12,80 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,53

Clave	V2T1t1
Fecha	13-dic-99
Inicio	13:33:00
Fin	14:18:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,50	Materia	V	m/s	10,50
		G	g air seco	381941,24		G	g air seco	381941,24
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008606	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010996
		Tge	°C	50,10		Tgs	°C	47,04
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4650		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4641
		Le(Tge)	cal/g ag	571,68		Le(Tgs)	cal/g ag	573,81
Parámetros				Parámetros				

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3275,00	Materia	Sh	g sol humedo	2455,50
		Ss	g sol seco	2138,00		Ss	g sol seco	2138,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3472	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1293
		Tse	°C	24,20		Tss	°C	25,60
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4567		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4572
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6553295,07	3065,15		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	7128810,33	3334,34		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,80	1535,64	34,13	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1266,46	28,14	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		269,18	5,98	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4424,07
Sale (S):	g agua
	4517,21
Perdidas (P):	g agua
	-93,14

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,43 °C
p2 =	692,15 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,00 %	
T(amb)se =	22,43 °C	
E =	20,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,46 mmHg	
H's =	0,007614 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007672 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,27 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	10,57 %	
Tgs =	50,35 °C	
E =	92,34 mmHg	
Pr=	10,93 °C	
e =	9,76 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008785 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008863 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,33 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,15

Clave	V2T1t2
Fecha	09-dic-99
Inicio	13:49:00
Fin	14:19:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,38	Materia	V	m/s	10,38
		G	g air seco	251950,79		G	g air seco	251950,79
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007672	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008863
	Temperatura	Tge	°C	50,72	Temperatura	Tgs	°C	50,35
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4652		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4651
		Le(Tge)	cal/g ag	571,25		Le(Tgs)	cal/g ag	571,51

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1728,00	Materia	Sh	g sol humedo	1300,35
		Ss	g sol seco	1188,00		Ss	g sol seco	1188,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3125	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0864
	Temperatura	Tse	°C	22,43	Temperatura	Tss	°C	31,95
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4562		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4592

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco			
	4215052,73	3548,02			
Sale (S):	cal	cal/g sol seco			
	4545946,24	3826,55			
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min		
	2,60	1890,91	63,03	A=S-E+U=R+U	
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min		
		1612,38	53,75	U=E+A-S	
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min		
		278,53	9,28	R=S-E	

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	2473,00
Sale (S):	g agua	2345,34
Perdidas (P):	g agua	127,66

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,05 °C
p2 =	692,28 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	48,25 %	
T(amb)se =	23,05 °C	
E =	20,88 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,07 mmHg	
H's =	0,009066 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009149 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,83 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,30 %	
Tgs =	45,29 °C	
E =	72,30 mmHg	
Pr=	15,59 °C	
e =	13,23 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011906 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,012049 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	14,01 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,28

Clave	V2T1t3
Fecha	14-dic-99
Inicio	12:47:00
Fin	13:02:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,40	Materia	V	m/s	10,40
		G	g air seco	126033,37		G	g air seco	126033,37
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009149	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,012049
	Temperatura	Tge	°C	50,26	Temperatura	Tgs	°C	45,29
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4635
		Le(Tge)	cal/g ag	571,57		Ls(Tgs)	cal/g ag	575,02

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3387,00	Materia	Sh	g sol humedo	2472,93
		Ss	g sol seco	2010,00		Ss	g sol seco	2010,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4066	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1872
	Temperatura	Tse	°C	23,05	Temperatura	Tss	°C	24,55
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4564		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4569

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2227816,38	1108,37		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2611311,42	1299,16		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,40	601,79	40,12	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		411,00	27,40	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		190,79	12,72	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2530,12
Sale (S):	g agua
	1981,56
Perdidas (P):	g agua
	548,56

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,43 °C
p2 =	692,15 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	43,75 %	
T(amb)se =	22,43 °C	
E =	20,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,81 mmHg	
H's =	0,007931 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007994 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,62 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	16,20 %	
Tgs =	43,29 °C	
E =	64,26 mmHg	
Pr=	11,93 °C	
e =	10,41 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009370 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009459 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,02 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,15

Clave	V2T2t1
Fecha	13-dic-99
Inicio	12:00:00
Fin	12:45:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,18	Materia	V	m/s	10,18
		G	g air seco	370525,89		G	g air seco	370525,89
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007994	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009459
	Temperatura	Tge	°C	45,41	Temperatura	Tgs	°C	43,29
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4629
		Le(Tge)	cal/g ag	574,94		Le(Tgs)	cal/g ag	576,41

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2987,00	Materia	Sh	g sol humedo	2185,03
		Ss	g sol seco	1906,00		Ss	g sol seco	1906,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3619	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1277
	Temperatura	Tse	°C	22,43	Temperatura	Tss	°C	25,00
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4562		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4570

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5804249,65	3045,25		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6239517,84	3273,62		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,20	1450,58	32,24	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1222,21	27,16	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		228,37	5,07	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4043,12
Sale (S):	g agua
	3783,70
Perdidas (P):	g agua
	259,43

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
T _{amb} =	22,23 °C
p ₂ =	692,10 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	45,50 %
T(amb)se =	22,23 °C
E =	19,90 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,05 mmHg
H's =	0,008150 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,008217 g vapor agua/g aire seco
Ha=	8,86 g vapor agua/m ³ aire

Salida

HRgs =	19,33 %
Tgs =	41,04 °C
E =	57,89 mmHg
Pr=	12,98 °C
e =	11,19 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010073 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,010175 g vapor agua/g aire seco
Ha=	11,85 g vapor agua/m ³ aire

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,10

Clave	V2T2t2
Fecha	14-dic-99
Inicio	11:33:00
Fin	12:03:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,34	Materia	V	m/s	10,34
		G	g air seco	250844,15		G	g air seco	250844,15
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008217	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010175
	Temperatura	Tge	°C	44,79	Temperatura	Tgs	°C	41,04
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2385	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4633		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4621
		Le(Tge)	cal/g ag	575,37		Le(Tgs)	cal/g ag	577,98

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2853,00	Materia	Sh	g sol humedo	2207,84
		Ss	g sol seco	1876,00		Ss	g sol seco	1876,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3424	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1503
	Temperatura	Tse	°C	22,23	Temperatura	Tss	°C	23,15
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4561		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4564

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3932264,82	2096,09		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4248714,24	2264,77		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,20	1013,22	33,77	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		844,54	28,15	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		168,68	5,62	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3038,29
Sale (S):	g agua
	2884,23
Perdidas (P):	g agua
	154,06

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,53 °C
p2 =	691,51 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	43,50 %	
T(amb)se =	19,53 °C	
E =	16,88 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,34 mmHg	
H's =	0,006615 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006659 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,25 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,90 %	
Tgs =	45,90 °C	
E =	58,41 mmHg	
Pr=	12,80 °C	
e =	11,04 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009946 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010046 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,69 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,2500
 Sección (m2) 0,01
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,51

Clave	V2T2t3
Fecha	09-dic-99
Inicio	12:25:00
Fin	12:40:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,26	Materia	V	m/s	10,26
		G	g air seco	124644,31		G	g air seco	124644,31
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006659	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010046
	Temperatura	Tge	°C	46,78	Temperatura	Tgs	°C	45,90
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4640		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4637
		Le(Tge)	cal/g ag	573,99		Le(Tgs)	cal/g ag	574,60

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2513,00	Materia	Sh	g sol humedo	2085,42
		Ss	g sol seco	1787,00		Ss	g sol seco	1787,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2889	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1431
	Temperatura	Tse	°C	19,53	Temperatura	Tss	°C	21,70
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4552		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4559

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1903535,45	1065,21		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2307817,18	1291,45		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,20	580,19	38,68	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		353,96	23,60	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		226,23	15,08	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1556,06
Sale (S):	g agua
	1550,63
Perdidas (P):	g agua
	5,43

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,55 °C
p2 =	691,51 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	45,25 %	
T(amb)se =	19,55 °C	
E =	16,88 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,64 mmHg	
H's =	0,006881 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006929 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,55 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	17,18 %	
Tgs =	38,85 °C	
E =	51,34 mmHg	
Pr=	9,44 °C	
e =	8,82 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007946 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008010 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,3369 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,51

Clave	V2T3t1
Fecha	13-dic-99
Inicio	9:41:00
Fin	10:26:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,51	Materia	V	m/s	10,51
		G	g air seco	382941,74		G	g air seco	382941,74
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006929	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008010
	Temperatura	Tge	°C	40,31	Temperatura	Tgs	°C	38,85
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4614
		Le(Tge)	cal/g ag	578,48		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,50

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2912,00	Materia	Sh	g sol humedo	2471,92
		Ss	g sol seco	2223,00		Ss	g sol seco	2223,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2366	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1007
	Temperatura	Tse	°C	19,55	Temperatura	Tss	°C	21,45
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4553		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4559

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5284251,68	2377,08		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	5596650,43	2517,61		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,00	1165,99	25,91	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1025,46	22,79	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		140,53	3,12	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3342,45
Sale (S):	g agua
	3316,21
Perdidas (P):	g agua
	26,24

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,05 °C
p2 =	692,28 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	48,25 %	
T(amb)se =	23,05 °C	
E =	20,88 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,07 mmHg	
H's =	0,009066 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009149 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,83 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	19,83 %	
Tgs =	37,18 °C	
E =	47,20 mmHg	
Pr=	10,29 °C	
e =	9,36 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008423 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008495 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,91 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,28

Clave	V2T3t2
Fecha	16-dic-99
Inicio	11:28:00
Fin	11:58:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,35	Materia	V	m/s	10,35
		G	g air seco	250854,89		G	g air seco	250854,89
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009149	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008495
	Temperatura	Tge	°C	40,44	Temperatura	Tgs	°C	37,18
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4609
		Le(Tge)	cal/g ag	578,39		Le(Tgs)	cal/g ag	580,66

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3012,00	Materia	Sh	g sol humedo	2378,61
		Ss	g sol seco	2077,00		Ss	g sol seco	2077,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3104	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1268
	Temperatura	Tse	°C	23,05	Temperatura	Tss	°C	24,55
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4564		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4569

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3813983,91	1836,29		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3777092,82	1818,53		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,00	831,97	27,73	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		849,73	28,32	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		-17,76	-0,59	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3230,14
Sale (S):	g agua
	2432,57
Perdidas (P):	g agua
	797,57

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,13 °C
p2 =	692,30 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	39,25 %	
T(amb)se =	23,13 °C	
E =	21,01 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,25 mmHg	
H's =	0,007421 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007476 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,05 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	19,26 %	
Tgs =	37,56 °C	
E =	48,29 mmHg	
Pr=	10,18 °C	
e =	9,30 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008369 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008440 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,85 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,30

Clave	V2T3t3
Fecha	16-dic-99
Inicio	13:14:00
Fin	13:29:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,59	Materia	V	m/s	10,59
		G	g air seco	128549,00		G	g air seco	128549,00
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007476	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008440
	Temperatura	Tge	°C	41,78	Temperatura	Tgs	°C	37,56
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4624		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4610
		Le(Tge)	cal/g ag	577,46		Ls(Tgs)	cal/g ag	580,40

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2308,00	Materia	Sh	g sol humedo	2003,21
		Ss	g sol seco	1745,00		Ss	g sol seco	1745,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2439	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1289
	Temperatura	Tse	°C	23,13	Temperatura	Tss	°C	23,45
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4564		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4565

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1873128,12	1073,43		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1952684,40	1119,02		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1	445,62	29,71	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		400,03	26,67	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		45,59	3,04	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1524,09
Sale (S):	g agua
	1343,13
Perdidas (P):	g agua
	180,96

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	16,63 °C
p2 =	690,85 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	49,50 %
T(amb)se =	16,63 °C
E =	14,09 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
e =	6,97 mmHg
H's =	0,006290 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,006329 g vapor agua/g aire seco
Ha=	6,96 g vapor agua/m ³ aire

Salida

HRgs =	13,40 %
Tgs =	49,80 °C
E =	66,27 mmHg
Pr=	9,56 °C
e =	8,88 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008008 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,008072 g vapor agua/g aire seco
Ha=	9,40 g vapor agua/m ³ aire

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 690,85

Clave	V3T1t1
Fecha	20-dic-99
Inicio	8:51:00
Fin	9:36:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,65	Materia	V	m/s	6,65
		G	g air seco	242443,42		G	g air seco	242443,42
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006329	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008072
	Temperatura	Tge	°C	50,90	Temperatura	Tgs	°C	49,80
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4653		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4649
		Le(Tge)	cal/g ag	571,12		Le(Tgs)	cal/g ag	571,89

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2713,00	Materia	Sh	g sol humedo	2220,91
		Ss	g sol seco	2075,00		Ss	g sol seco	2075,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2352	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0657
	Temperatura	Tse	°C	16,63	Temperatura	Tss	°C	30,00
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4543		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4586

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3875159,36	1867,55		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4292960,18	2068,90		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,10	1290,80	28,68	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1089,45	24,21	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		201,35	4,47	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2172,51
Sale (S):	g agua
	2103,03
Perdidas (P):	g agua
	69,47

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	18,88 °C
p2 =	691,36 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	45,75 %	
T(amb)se =	18,88 °C	
E =	16,27 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,44 mmHg	
H's =	0,006708 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006753 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,37 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,65 %	
Tgs =	43,32 °C	
E =	65,19 mmHg	
Pr=	10,59 °C	
e =	9,55 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008606 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008680 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,11 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,36

Clave	V3T1t2
Fecha	22-dic-99
Inicio	12:01:00
Fin	12:31:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,54	Materia	V	m/s	6,54
		G	g air seco	158888,52		G	g air seco	158888,52
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006753	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008680
	Temperatura	Tge	°C	49,96	Temperatura	Tgs	°C	43,32
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4650		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4629
		Le(Tge)	cal/g ag	571,78		Le(Tgs)	cal/g ag	576,39

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2976,00	Materia	Sh	g sol humedo	2472,45
		Ss	g sol seco	2221,00		Ss	g sol seco	2221,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2537	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1017
	Temperatura	Tse	°C	18,88	Temperatura	Tss	°C	22,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4550		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4562

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2553526,70	1149,72		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2707049,68	1218,84		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,90	739,13	24,64	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		670,00	22,33	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		69,12	2,30	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	1827,94
Sale (S):	g agua	1630,66
Perdidas (P):	g agua	197,28

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	20,85 °C
p2 =	691,80 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	50,67 %	
T(amb)se =	20,85 °C	
E =	18,39 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,32 mmHg	
H's =	0,008392 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008463 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,16 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	19,75 %	
Tgs =	43,05 °C	
E =	64,05 mmHg	
Pr=	14,93 °C	
e =	12,65 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011392 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011523 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	13,39 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,80

Clave	V3T1t3
Fecha	23-dic-99
Inicio	12:20:00
Fin	12:35:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,50	Materia	V	m/s	6,50
		G	g air seco	78824,50		G	g air seco	78824,50
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008463	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011523
	Temperatura	Tge	°C	50,84	Temperatura	Tgs	°C	43,05
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4653		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4628
		Le(Tge)	cal/g ag	571,17		Ls(Tgs)	cal/g ag	576,58

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3064,00	Materia	Sh	g sol humedo	2449,18
		Ss	g sol seco	2036,00		Ss	g sol seco	2036,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3355	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1687
	Temperatura	Tse	°C	20,85	Temperatura	Tss	°C	23,45
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4557		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4565

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1377116,78	676,38		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1614642,62	793,05		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,90	381,93	25,46	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		265,26	17,68	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		116,66	7,78	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1695,05
Sale (S):	g agua
	1321,49
Perdidas (P):	g agua
	373,57

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	20,65 °C
p2 =	691,76 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	45,00 %	
T(amb)se =	20,65 °C	
E =	18,06 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,13 mmHg	
H's =	0,007319 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007373 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,00 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,27 %	
Tgs =	42,79 °C	
E =	63,07 mmHg	
Pr=	9,73 °C	
e =	9,00 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008105 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008172 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,53 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,76

Clave	V3T2t1
Fecha	20-dic-99
Inicio	13:12:00
Fin	13:57:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,49	Materia	V	m/s	6,49
		G	g air seco	236365,02		G	g air seco	236365,02
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007373	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008172
	Temperatura	Tge	°C	44,69	Temperatura	Tgs	°C	42,79
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco.°C	0,2385	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco.°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag.°C	0,4633		Cpv(Tgs)	cal/g ag.°C	0,4627
		Le(Tge)	cal/g ag	575,44		Ls(Tgs)	cal/g ag	576,76

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2560,00	Materia	Sh	g sol humedo	2150,48
		Ss	g sol seco	1995,00		Ss	g sol seco	1995,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2207	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0723
	Temperatura	Tse	°C	20,65	Temperatura	Tss	°C	34,40
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco.°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco.°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag.°C(20/50)	0,4556		Cpv(Tss)	cal/g ag.°C	0,4600

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3577293,22	1793,13		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3779197,04	1894,33		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,20	952,78	21,17	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		851,58	18,92	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		101,20	2,25	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2307,77
Sale (S):	g agua
	2086,98
Perdidas (P):	g agua
	220,78

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	20,60 °C
p2 =	691,75 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	44,75 %	
T(amb)se =	20,60 °C	
E =	18,06 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,08 mmHg	
H's =	0,007279 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007332 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,96 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,29 %	
Tgs =	43,87 °C	
E =	67,17 mmHg	
Pr=	11,68 °C	
e =	10,27 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009249 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009336 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,87 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,75

Clave	V3T2t2
Fecha	21-dic-99
Inicio	12:55:00
Fin	13:25:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,79	Materia	V	m/s	6,79
		G	g air seco	164867,39		G	g air seco	164867,39
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007332	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009336
	Temperatura	Tge	°C	45,45	Temperatura	Tgs	°C	43,87
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4630
		Le(Tge)	cal/g ag	574,91		Le(Tgs)	cal/g ag	576,01

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2953,00	Materia	Sh	g sol humedo	2232,45
		Ss	g sol seco	1988,00		Ss	g sol seco	1988,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3268	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1095
	Temperatura	Tse	°C	20,60	Temperatura	Tss	°C	23,15
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4556		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4564

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2530365,07	1272,82		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2949642,97	1483,72		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,50	651,91	21,73	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		441,01	14,70	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		210,90	7,03	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2173,82
Sale (S):	g agua
	1783,61
Perdidas (P):	g agua
	390,21

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,78 °C
p2 =	691,56 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	50,00 %
T(amb)se =	19,78 °C
E =	17,19 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,60 mmHg
H's =	0,007743 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,007803 g vapor agua/g aire seco
Ha=	8,48 g vapor agua/m ³ aire

Salida

HRgs =	23,53 %
Tgs =	37,41 °C
E =	47,56 mmHg
Pr=	13,08 °C
e =	11,19 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010081 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,010183 g vapor agua/g aire seco
Ha=	11,85 g vapor agua/m ³ aire

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,56

Clave	V3T2t3
Fecha	23-dic-99
Inicio	11:24:00
Fin	11:39:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,55	Materia	V	m/s	6,55
		G	g air seco	79482,80		G	g air seco	79482,80
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007803	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010183
	Temperatura	Tge	°C	45,10	Temperatura	Tgs	°C	37,41
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4634		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4610
		Le(Tge)	cal/g ag	575,16		Ls(Tgs)	cal/g ag	580,50

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3193,00	Materia	Sh	g sol humedo	2693,86
		Ss	g sol seco	2265,00		Ss	g sol seco	2265,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2906	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1592
	Temperatura	Tse	°C	19,78	Temperatura	Tss	°C	20,75
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4553		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4556

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1247690,73	550,86		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1423218,70	628,35		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,80	305,17	20,34	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		227,67	15,18	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		77,50	5,17	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1548,23
Sale (S):	g agua
	1238,26
Perdidas (P):	g agua
	309,97

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,33 °C
p2 =	691,46 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	46,75 %	
T(amb)se =	19,33 °C	
E =	16,67 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,79 mmHg	
H's =	0,007022 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007071 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,70 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,25 %	
Tgs =	36,65 °C	
E =	45,81 mmHg	
Pr=	8,56 °C	
e =	8,36 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007532 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007589 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,85 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,46

Clave	V3T3t1
Fecha	20-dic-99
Inicio	10:36:00
Fin	11:21:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,62	Materia	V	m/s	6,62
		G	g air seco	241171,89		G	g air seco	241171,89
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007071	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007589
	Temperatura	Tge	°C	41,16	Temperatura	Tgs	°C	36,65
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2382
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4622		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4607
		Le(Tge)	cal/g ag	577,89		Ls(Tgs)	cal/g ag	581,03

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2865,00	Materia	Sh	g sol humedo	2190,71
		Ss	g sol seco	1985,00		Ss	g sol seco	1985,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3072	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0939
	Temperatura	Tse	°C	19,33	Temperatura	Tss	°C	22,55
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4552		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4562

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3404723,89	1715,23		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3496152,38	1761,29		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,1	931,47	20,70	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		885,41	19,68	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		46,06	1,02	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2585,39
Sale (S):	g agua
	2036,06
Perdidas (P):	g agua
	549,32

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,00 °C
p2 =	691,39 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	43,75 %	
T(amb)se =	19,00 °C	
E =	16,37 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,16 mmHg	
H's =	0,006453 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006495 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,09 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,54 %	
Tgs =	37,41 °C	
E =	47,90 mmHg	
Pr=	9,46 °C	
e =	8,88 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008002 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008066 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,40 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,39

Clave	V3T3t2
Fecha	21-dic-99
Inicio	11:44:00
Fin	12:14:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,34	Materia	V	m/s	6,34
		G	g air seco	154068,94		G	g air seco	154068,94
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006495	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008066
	Temperatura	Tge	°C	39,87	Temperatura	Tgs	°C	37,41
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4618		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4610
		Le(Tge)	cal/g ag	578,79		Le(Tgs)	cal/g ag	580,50

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3105,00	Materia	Sh	g sol humedo	2560,45
		Ss	g sol seco	2192,00		Ss	g sol seco	2192,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2940	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1439
	Temperatura	Tse	°C	19,00	Temperatura	Tss	°C	20,35
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4551		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4555

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2083204,35	950,37		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2363822,31	1078,39		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,00	394,16	13,14	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		266,14	8,87	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		128,02	4,27	R+F60=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1913,74
Sale (S):	g agua
	1611,20
Perdidas (P):	g agua
	302,54

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	17,30 °C
p2 =	691,01 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	50,30 %	
T(amb)se =	17,30 °C	
E =	14,72 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,40 mmHg	
H's =	0,006675 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006720 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,37 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	20,11 %	
Tgs =	36,93 °C	
E =	46,54 mmHg	
Pr=	10,31 °C	
e =	9,36 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008439 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008511 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,91 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,01

Clave	V3T3t3
Fecha	23-dic-99
Inicio	9:31:00
Fin	9:46:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,68	Materia	V	m/s	6,68
		G	g air seco	81147,52		G	g air seco	81147,52
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006720	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008511
	Temperatura	Tge	°C	39,72	Temperatura	Tgs	°C	36,93
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4617		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4608
		Le(Tge)	cal/g ag	578,89		Le(Tgs)	cal/g ag	580,83

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2959,00	Materia	Sh	g sol humedo	2543,51
		Ss	g sol seco	2090,00		Ss	g sol seco	2090,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2937	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1783
	Temperatura	Tse	°C	17,30	Temperatura	Tss	°C	20,05
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4545		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4554

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1112499,65	532,30		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1320044,23	631,60		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,60	248,04	16,54	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		148,73	9,92	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		99,30	6,62	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1414,34
Sale (S):	g agua
	1144,13
Perdidas (P):	g agua
	270,21

Restos de Cebada.

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,50 °C
p2 =	693,03 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	37,50 %	
T(amb)se =	26,50 °C	
E =	25,74 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,65 mmHg	
H's =	0,008677 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008753 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,31 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	12,39 %	
Tgs =	49,21 °C	
E =	87,41 mmHg	
Pr=	12,47 °C	
e =	10,83 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009736 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009831 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,46 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,03

Clave	V1T1t1
Fecha	24-feb-00
Inicio	14:29:00
Fin	15:14:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	15,25	Materia	V	m/s	15,25
		G	g air seco	554643,40		G	g air seco	554643,40
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008753	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009831
	Temperatura	Tge	°C	50,26	Temperatura	Tgs	°C	49,21
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4647
		Le(Tge)	cal/g ag	571,57		Le(Tgs)	cal/g ag	572,30

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	984,00	Materia	Sh	g sol humedo	386,17
		Ss	g sol seco	354,00		Ss	g sol seco	354,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,6402	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0833
	Temperatura	Tse	°C	26,50	Temperatura	Tss	°C	36,90
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4575		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4608

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	9554236,53	26989,37		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	9893298,69	27947,17		
Aporte(A)	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	5,50	13423,73	298,31	A=S-E+U=R+U
Utilizadas(U)		cal/g sol seco	cal/g * min	
		12465,93	277,02	U=E+A-S
Reutilizables(R)		cal/g sol seco	cal/g * min	
		957,80	21,28	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	5484,85
Sale (S):	g agua
	5485,08
Perdidas (P):	g agua
	-0,23

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	25,85 °C
p2 =	692,89 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,25 %	
T(amb)se =	25,85 °C	
E =	24,84 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,50 mmHg	
H's =	0,008543 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008617 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,19 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,53 %	
Tgs =	47,46 °C	
E =	80,56 mmHg	
Pr=	12,62 °C	
e =	10,90 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009801 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009898 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,54 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,89

Clave	V1T1t2
Fecha	07-mar-00
Inicio	12:11:00
Fin	12:41:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,71	Materia	V	m/s	15,71
		G	g air seco	380967,32		G	g air seco	380967,32
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008617	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009898
	Temperatura	Tge	°C	49,56	Temperatura	Tgs	°C	47,46
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4649		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4642
		Le(Tge)	cal/g ag	572,06		Ls(Tgs)	cal/g ag	573,52

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1476,00	Materia	Sh	g sol humedo	908,17
		Ss	g sol seco	718,00		Ss	g sol seco	718,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5136	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2094
	Temperatura	Tse	°C	25,85	Temperatura	Tss	°C	27,25
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4573		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4577

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6475540,02	9018,86		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6733532,97	9378,18		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,20	3850,70	128,36	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		3491,37	116,38	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		359,32	11,98	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4040,63
Sale (S):	g agua
	3960,82
Perdidas (P):	g agua
	79,81

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,73 °C
p2 =	693,08 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	40,25 %	
T(amb)se =	26,73 °C	
E =	26,04 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,48 mmHg	
H's =	0,009421 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009511 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,11 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,16 %	
Tgs =	49,89 °C	
E =	88,98 mmHg	
Pr=	13,65 °C	
e =	11,71 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010526 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010638 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,40 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,08

Clave	V1T1t3
Fecha	23-sep-00
Inicio	12:14:00
Fin	12:29:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	14,78	Materia	V	m/s	14,78
		G	g air seco	179048,64		G	g air seco	179048,64
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009511	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010638
	Temperatura	Tge	°C	50,31	Temperatura	Tgs	°C	49,89
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4650
		Le(Tge)	cal/g ag	571,53		Le(Tgs)	cal/g ag	571,83

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	922,00	Materia	Sh	g sol humedo	635,19
		Ss	g sol seco	608,00		Ss	g sol seco	608,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3406	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0428
	Temperatura	Tse	°C	26,73	Temperatura	Tss	°C	46,15
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4576		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4638

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3172800,66	5218,42		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3388040,24	5572,43		
Aporte(A)	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,50	2131,58	142,11	A=S-E+U=R+U
Utilizadas(U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1777,57	118,50	U=E+A-S
Reutilizables(R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		354,01	23,60	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2016,93
Sale (S):	g agua
	1931,90
Perdidas (P):	g agua
	85,02

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,70 °C
p2 =	692,21 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	46,00 %	
T(amb)se =	22,70 °C	
E =	20,51 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,43 mmHg	
H's =	0,008491 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008564 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,22 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,62 %	
Tgs =	44,07 °C	
E =	67,09 mmHg	
Pr=	12,06 °C	
e =	10,48 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009432 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009522 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,09 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,21

Clave	V1T2t1
Fecha	16-feb-00
Inicio	9:09:00
Fin	9:54:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	15,50	Materia	V	m/s	15,50	
		G	g air seco	563841,59		G	g air seco	563841,59	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008564	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009522	
	Temperatura	Tge	°C	45,19	Temperatura	Tgs	°C	44,07	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4631	
		Le(Tge)	cal/g ag	575,09		Le(Tgs)	cal/g ag	575,87	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1183,00	Materia	Sh	g sol humedo	433,75
		Ss	g sol seco	400,00		Ss	g sol seco	400,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,6619	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0778
	Temperatura	Tse	°C	22,70	Temperatura	Tss	°C	36,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4563		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4607

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	8967527,49	22418,82		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	9284423,71	23211,06		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	5,00	10800,00	240,00	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		10007,76	222,39	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		792,24	17,61	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	5611,76
Sale (S):	g agua
	5402,65
Perdidas (P):	g agua
	209,11

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,53 °C
p2 =	692,60 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	50,00 %	
T(amb)se =	24,53 °C	
E =	22,85 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	11,43 mmHg	
H's =	0,010277 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,010384 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,10 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	16,62 %	
Tgs =	45,36 °C	
E =	72,26 mmHg	
Pr=	14,09 °C	
e =	12,01 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010803 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010921 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,71 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,60

Clave	V1T2t2
Fecha	23-feb-00
Inicio	11:39:00
Fin	12:09:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	15,61	Materia	V	m/s	15,61	
		G	g air seco	377880,32		G	g air seco	377880,32	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,010384	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010921	
	Temperatura	Tge	°C	45,65	Temperatura	Tgs	°C	45,36	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4635	
		Le(Tge)	cal/g ag	574,77		Le(Tgs)	cal/g ag	574,97	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1113,00	Materia	Sh	g sol humedo	615,46
		Ss	g sol seco	532,00		Ss	g sol seco	532,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5220	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1356
	Temperatura	Tse	°C	24,53	Temperatura	Tss	°C	30,70
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4568		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4588

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6464438,13	12151,20		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6696877,10	12588,11		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,90	4709,77	156,99	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		4272,86	142,43	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		436,92	14,56	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4504,73
Sale (S):	g agua
	4210,29
Perdidas (P):	g agua
	294,44

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,08 °C
p2 =	692,51 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,75 %	
T(amb)se =	24,08 °C	
E =	22,18 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,59 mmHg	
H's =	0,007732 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007792 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,36 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,61 %	
Tgs =	42,55 °C	
E =	62,84 mmHg	
Pr=	10,97 °C	
e =	9,81 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008825 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008904 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,38 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,51

Clave	VIT2t3
Fecha	24-feb-00
Inicio	13:35:00
Fin	13:50:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	15,69	Materia	V	m/s	15,69	
		G	g air seco	190396,75		G	g air seco	190396,75	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007792	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008904	
	Temperatura	Tge	°C	45,71	Temperatura	Tgs	°C	42,55	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4626	
		Le(Tge)	cal/g ag	574,73		Le(Tgs)	cal/g ag	576,93	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	961,00	Materia	Sh	g sol humedo	592,21
		Ss	g sol seco	544,00		Ss	g sol seco	544,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4339	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0814
	Temperatura	Tse	°C	24,08	Temperatura	Tss	°C	27,00
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4567		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4576

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2969273,55	5458,22		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3073166,29	5649,20		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,70	2700,00	180,00	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		2509,02	167,27	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		190,98	12,73	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1900,64
Sale (S):	g agua
	1743,49
Perdidas (P):	g agua
	157,15

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,55 °C
p2 =	692,17 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,50 %	
T(amb)se =	22,55 °C	
E =	20,39 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,85 mmHg	
H's =	0,007066 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007116 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,68 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	17,41 %	
Tgs =	38,09 °C	
E =	49,28 mmHg	
Pr=	9,05 °C	
e =	8,58 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007723 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007783 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,08 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,17

Clave	V1T3t1
Fecha	22-feb-00
Inicio	9:14:00
Fin	9:59:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	15,96	Materia	V	m/s	15,96	
		G	g air seco	581409,77		G	g air seco	581409,77	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007116	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007783	
		Tge	°C	40,31		Tgs	°C	38,09	
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4612	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,48		Le(Tgs)	cal/g ag	580,03	
Parámetros				Parámetros					

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1083,00	Materia	Sh	g sol humedo	421,52
		Ss	g sol seco	380,00		Ss	g sol seco	380,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,6491	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0985
		Tse	°C	22,55		Tss	°C	28,15
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4562		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4580
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	8067092,72	21229,19		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	8123992,04	21378,93		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,50	7957,89	176,84	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		7808,16	173,51	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		149,74	3,33	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4840,25
Sale (S):	g agua
	4566,42
Perdidas (P):	g agua
	273,83

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	25,65 °C
p2 =	692,85 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,25 %	
T(amb)se =	25,65 °C	
E =	24,55 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,37 mmHg	
H's =	0,009327 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009415 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,04 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	20,64 %	
Tgs =	40,37 °C	
E =	56,35 mmHg	
Pr=	13,55 °C	
e =	11,63 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010458 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010568 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,31 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,85

Clave	V1T3t2
Fecha	23-sep-00
Inicio	11:07:00
Fin	11:37:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	16,16	Materia	V	m/s	16,16	
		G	g air seco	391570,02		G	g air seco	391570,02	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009415	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010568	
	Temperatura	Tge	°C	40,43	Temperatura	Tgs	°C	40,37	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4619	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,40		Ls(Tgs)	cal/g ag	578,44	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1428,00	Materia	Sh	g sol humedo	971,23
		Ss	g sol seco	773,00		Ss	g sol seco	773,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4587	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2041
	Temperatura	Tse	°C	25,65	Temperatura	Tss	°C	34,55
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4572		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4601

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5989033,69	7747,78		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6398485,12	8277,47		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,90	2123,67	70,79	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1593,98	53,13	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		529,69	17,66	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4341,45
Sale (S):	g agua
	4336,38
Perdidas (P):	g agua
	5,08

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,13 °C
p2 =	692,52 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	43,00 %	
T(amb)se =	24,13 °C	
E =	22,31 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,59 mmHg	
H's =	0,008630 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008705 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,33 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,48 %	
Tgs =	40,32 °C	
E =	55,25 mmHg	
Pr=	11,58 °C	
e =	10,21 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009185 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009270 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,81 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,52

Clave	V1T3t3
Fecha	23-sep-00
Inicio	10:20:00
Fin	10:35:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	15,08	Materia	V	m/s	15,08	
		G	g air seco	182828,81		G	g air seco	182828,81	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008705	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009270	
	Temperatura	Tge	°C	40,09	Temperatura	Tgs	°C	40,32	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4618		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4619	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,64		Ls(Tgs)	cal/g ag	578,48	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1070,00	Materia	Sh	g sol humedo	881,90
		Ss	g sol seco	687,00		Ss	g sol seco	687,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3579	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2210
	Temperatura	Tse	°C	24,13	Temperatura	Tss	°C	37,90
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4567		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4611

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2707157,53	3940,55		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2853184,05	4153,11		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,80	1006,11	67,07	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		793,56	52,90	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		212,56	14,17	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1974,60
Sale (S):	g agua
	1889,76
Perdidas (P):	g agua
	84,84

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,03 °C
p2 =	692,28 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	36,50 %	
T(amb)se =	23,03 °C	
E =	20,88 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,62 mmHg	
H's =	0,006859 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006906 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,44 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	10,81 %	
Tgs =	48,68 °C	
E =	83,81 mmHg	
Pr=	9,80 °C	
e =	9,06 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008153 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008220 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,59 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,28

Clave	V2T1t1
Fecha	24-ene-00
Inicio	14:12:00
Fin	14:57:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	10,52	Materia	V	m/s	10,52	
		G	g air seco	383314,95		G	g air seco	383314,95	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006906	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008220	
	Temperatura	Tge	°C	49,77	Temperatura	Tgs	°C	48,68	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4649		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4646	
		Le(Tge)	cal/g ag	571,91		Le(Tgs)	cal/g ag	572,67	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1312,00	Materia	Sh	g sol humedo	672,55
		Ss	g sol seco	640,00		Ss	g sol seco	640,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5122	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0484
	Temperatura	Tse	°C	23,03	Temperatura	Tss	°C	37,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4564		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4610

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6141240,17	9595,69		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6523495,78	10192,96		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	4,10	5535,00	123,00	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		4937,73	109,73	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		597,27	13,27	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3319,13
Sale (S):	g agua
	3183,53
Perdidas (P):	g agua
	135,59

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,60 °C
p2 =	692,62 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	46,50 %	
T(amb)se =	24,60 °C	
E =	22,99 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,69 mmHg	
H's =	0,009616 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009709 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,38 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,53 %	
Tgs =	47,54 °C	
E =	78,88 mmHg	
Pr=	14,36 °C	
e =	12,25 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011019 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011141 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,97 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,62

Clave	V2T1t2
Fecha	20-sep-00
Inicio	11:50:00
Fin	12:20:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	9,13	Materia	V	m/s	9,13
		G	g air seco	221162,82		G	g air seco	221162,82
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009709	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011141
	Temperatura	Tge	°C	50,45	Temperatura	Tgs	°C	47,54
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4642
		? e(Tge)	cal/g ag	571,44		? s(Tgs)	cal/g ag	573,46

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1224,00	Materia	Sh	g sol humedo	778,96
		Ss	g sol seco	739,00		Ss	g sol seco	739,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3962	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0513
	Temperatura	Tse	°C	24,60	Temperatura	Tss	°C	30,85
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4569		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4589

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3952632,70	5348,62		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4144472,12	5608,22		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,40	2805,95	93,53	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		2546,36	84,88	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		259,59	8,65	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2632,30
Sale (S):	g agua
	2504,03
Perdidas (P):	g agua
	128,27

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,78 °C
p2 =	692,22 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,75 %	
T(amb)se =	22,78 °C	
E =	20,68 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,84 mmHg	
H's =	0,007957 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008020 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,64 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,67 %	
Tgs =	47,17 °C	
E =	79,82 mmHg	
Pr=	13,66 °C	
e =	11,71 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010539 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010651 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,40 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,22

Clave	V2T1t3
Fecha	15-feb-00
Inicio	12:35:00
Fin	12:50:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	10,65	Materia	V	m/s	10,65	
		G	g air seco	129207,56		G	g air seco	129207,56	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008020	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010651	
		Tge	°C	50,45		Tgs	°C	47,17	
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4641	
		Le(Tge)	cal/g ag	571,44		Le(Tgs)	cal/g ag	573,72	
Parámetros				Parámetros					

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1828,00	Materia	Sh	g sol humedo	984,23
		Ss	g sol seco	780,00		Ss	g sol seco	780,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5733	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2075
		Tse	°C	22,78		Tss	°C	26,15
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4563		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4574
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2189421,93	2806,95		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2497538,33	3201,97		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,20	1329,23	88,62	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		934,21	62,28	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		395,02	26,33	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2084,30
Sale (S):	g agua
	1580,44
Perdidas (P):	g agua
	503,85

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	20,55 °C
p2 =	691,73 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,75 %	
T(amb)se =	20,55 °C	
E =	18,06 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,72 mmHg	
H's =	0,006953 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007002 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,60 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	15,54 %	
Tgs =	42,48 °C	
E =	61,45 mmHg	
Pr=	10,57 °C	
e =	9,55 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008601 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008676 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,11 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,73

Clave	V2T2t1
Fecha	17-ene-00
Inicio	11:56:00
Fin	12:41:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	10,76	Materia	V	m/s	10,76	
		G	g air seco	392022,28		G	g air seco	392022,28	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007002	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008676	
		Tge	°C	44,88		Tgs	°C	42,48	
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2385	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4634		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4626	
		Le(Tge)	cal/g ag	575,31		Le(Tgs)	cal/g ag	576,98	
Parámetros				Parámetros					

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1839,00	Materia	Sh	g sol humedo	978,15
		Ss	g sol seco	882,00		Ss	g sol seco	882,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5204	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0983
		Tse	°C	20,55		Tss	°C	24,10
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4556		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4567
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5848052,75	6630,45		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6254454,22	7091,22		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,80	3722,45	82,72	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		3261,68	72,48	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		460,77	10,24	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3702,01
Sale (S):	g agua
	3497,21
Perdidas (P):	g agua
	204,80

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,05 °C
p2 =	692,06 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	34,25 %	
T(amb)se =	22,05 °C	
E =	19,66 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	6,73 mmHg	
H's =	0,006062 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,006099 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	6,60 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,14 %	
Tgs =	42,81 °C	
E =	63,17 mmHg	
Pr=	8,52 °C	
e =	8,30 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007472 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007528 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,79 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,06

Clave	V2T2t2
Fecha	25-ene-00
Inicio	13:17:00
Fin	13:47:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	10,58	Materia	V	m/s	10,58	
		G	g air seco	257207,00		G	g air seco	257207,00	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,006099	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007528	
	Temperatura	Tge	°C	45,27	Temperatura	Tgs	°C	42,81	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4627	
		Le(Tge)	cal/g ag	575,04		Ls(Tgs)	cal/g ag	576,75	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1423,00	Materia	Sh	g sol humedo	972,29
		Ss	g sol seco	951,00		Ss	g sol seco	951,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3317	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0219
	Temperatura	Tse	°C	22,05	Temperatura	Tss	°C	24,60
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4561		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4569

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3724148,13	3916,03		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3968347,76	4172,82		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,40	2180,44	72,68	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1923,66	64,12	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		256,78	8,56	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2040,59
Sale (S):	g agua
	1957,53
Perdidas (P):	g agua
	83,05

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,93 °C
p2 =	692,48 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	47,25 %	
T(amb)se =	23,93 °C	
E =	22,05 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,42 mmHg	
H's =	0,009373 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009462 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,14 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	26,73 %	
Tgs =	38,96 °C	
E =	51,40 mmHg	
Pr=	16,21 °C	
e =	13,74 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,012361 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,012516 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	14,55 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,48

Clave	V2T2t3
Fecha	20-sep-00
Inicio	9:56:00
Fin	10:11:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,09	Materia	V	m/s	10,09
		G	g air seco	122238,73		G	g air seco	122238,73
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009462	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,012516
	Temperatura	Tge	°C	45,62	Temperatura	Tgs	°C	38,96
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4615
		Le(Tge)	cal/g ag	574,79		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,42

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1259,00	Materia	Sh	g sol humedo	790,93
		Ss	g sol seco	415,00		Ss	g sol seco	415,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,6704	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,4753
	Temperatura	Tse	°C	23,93	Temperatura	Tss	°C	25,70
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4567		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4572

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2032115,90	4896,66		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2149057,28	5178,45		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,80	1665,54	111,04	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1383,76	92,25	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		281,79	18,79	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2000,63
Sale (S):	g agua
	1905,89
Perdidas (P):	g agua
	94,73

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	17,38 °C
p2 =	691,02 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	44,25 %
T(amb)se =	17,38 °C
E =	14,82 mmHg
e =	6,56 mmHg
H's =	0,005912 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,005947 g vapor agua/g aire seco
Ha=	6,53 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Salida

HRgs =	16,15 %
Tgs =	38,20 °C
E =	48,98 mmHg
Pr=	7,84 °C
e =	7,91 mmHg
H's =	0,007131 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,007183 g vapor agua/g aire seco
Ha=	8,37 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,02

Clave	V2T3t1
Fecha	17-ene-00
Inicio	10:05:00
Fin	10:50:00

ENTRA				Ud.				SALE				Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,70	Materia	V	m/s	10,70							
		G	g air seco	390245,02		G	g air seco	390245,02							
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,005947	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007183							
	Temperatura	Tge	°C	40,61	Temperatura	Tgs	°C	38,20							
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383							
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4620		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4612							
		Le(Tge)	cal/g ag	578,28		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,95							

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1757,00	Materia	Sh	g sol humedo	967,38
		Ss	g sol seco	866,00		Ss	g sol seco	866,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5071	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1048
	Temperatura	Tse	°C	17,38	Temperatura	Tss	°C	20,75
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4546		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4556

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5175531,19	5976,36		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	5466709,48	6312,60		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,40	3392,15	75,38	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		3055,91	67,91	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		336,23	7,47	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3211,97
Sale (S):	g agua
	2904,34
Perdidas (P):	g agua
	307,63

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,03 °C
p2 =	691,40 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	36,00 %	
T(amb)se =	19,03 °C	
E =	16,37 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	5,89 mmHg	
H's =	0,005310 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,005339 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	5,83 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,14 %	
Tgs =	39,01 °C	
E =	51,83 mmHg	
Pr=	5,61 °C	
e =	6,81 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,006136 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,006174 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,21 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,40

Clave	V2T3t2
Fecha	25-ene-00
Inicio	10:10:00
Fin	10:40:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	10,97	Materia	V	m/s	10,97	
		G	g air seco	266889,76		G	g air seco	266889,76	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,005339	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,006174	
	Temperatura	Tge	°C	40,26	Temperatura	Tgs	°C	39,01	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4615	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,52		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,39	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1552,00	Materia	Sh	g sol humedo	1030,72
		Ss	g sol seco	1000,00		Ss	g sol seco	1000,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3557	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0298
	Temperatura	Tse	°C	19,03	Temperatura	Tss	°C	29,60
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4551		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4585

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3423040,32	3423,04		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3676377,76	3676,38		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,10	1814,40	60,48	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1561,06	52,04	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		253,34	8,44	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1976,81
Sale (S):	g agua
	1678,55
Perdidas (P):	g agua
	298,26

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,10 °C
p2 =	692,08 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	44,25 %	
T(amb)se =	22,10 °C	
E =	19,78 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,75 mmHg	
H's =	0,007879 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007942 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,57 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	30,42 %	
Tgs =	34,65 °C	
E =	40,80 mmHg	
Pr=	14,60 °C	
e =	12,41 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011171 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011298 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	13,14 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,08

Clave	V2T3t3
Fecha	20-sep-00
Inicio	8:45:00
Fin	9:00:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	9,71	Materia	V	m/s	9,71
		G	g air seco	117812,53		G	g air seco	117812,53
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007942	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011298
	Temperatura	Tge	°C	39,79	Temperatura	Tgs	°C	34,65
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2382
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4617		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4601
		Le(Tge)	cal/g ag	578,85		Ls(Tgs)	cal/g ag	582,42

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1552,00	Materia	Sh	g sol humedo	955,79
		Ss	g sol seco	601,00		Ss	g sol seco	601,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,6128	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,3712
	Temperatura	Tse	°C	22,10	Temperatura	Tss	°C	22,40
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4561		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4562

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1690017,08	2812,01		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1914801,48	3186,03		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,7	1030,76	68,72	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		656,74	43,78	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		374,02	24,93	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1886,62
Sale (S):	g agua
	1685,78
Perdidas (P):	g agua
	200,84

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,03 °C
p2 =	692,06 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,50 %
T(amb)se =	22,03 °C
E =	19,66 mmHg
e =	8,36 mmHg
H's =	0,007522 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,007579 g vapor agua/g aire seco
Ha=	8,18 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Salida

HRgs =	16,30 %
Tgs =	44,32 °C
E =	68,65 mmHg
Pr=	12,97 °C
e =	11,19 mmHg
H's =	0,010073 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,010176 g vapor agua/g aire seco
Ha=	11,85 g vapor agua/m ³ aire

tabla psicrométrica

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,06

Clave	V3T1t1
Fecha	17-ene-00
Inicio	13:40:00
Fin	14:25:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	6,40	Materia	V	m/s	6,40	
		G	g air seco	233039,68		G	g air seco	233039,68	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007579	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010176	
	Temperatura	Tge	°C	50,30	Temperatura	Tgs	°C	44,32	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4632	
		Le(Tge)	cal/g ag	571,54		Ls(Tgs)	cal/g ag	575,70	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2238,00	Materia	Sh	g sol humedo	1610,21
		Ss	g sol seco	1426,00		Ss	g sol seco	1426,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3628	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1144
	Temperatura	Tse	°C	22,03	Temperatura	Tss	°C	23,10
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4560		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4564

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3867573,70	2712,18		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4128523,34	2895,18		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,70	1635,90	36,35	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1452,91	32,29	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		182,99	4,07	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2578,14
Sale (S):	g agua
	2555,59
Perdidas (P):	g agua
	22,55

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,40 °C
p2 =	692,58 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	46,25 %	
T(amb)se =	24,40 °C	
E =	22,72 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,51 mmHg	
H's =	0,009452 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009543 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,21 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	19,48 %	
Tgs =	44,96 °C	
E =	69,66 mmHg	
Pr=	15,97 °C	
e =	13,57 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,012207 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,012358 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	14,37 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,58

Clave	V3T1t2
Fecha	22-sep-00
Inicio	10:15:00
Fin	10:45:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	5,99	Materia	V	m/s	5,99	
		G	g air seco	145124,19		G	g air seco	145124,19	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009543	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,012358	
	Temperatura	Tge	°C	50,45	Temperatura	Tgs	°C	44,96	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4634	
		Le(Tge)	cal/g ag	571,44		Ls(Tgs)	cal/g ag	575,25	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1523,00	Materia	Sh	g sol humedo	867,26
		Ss	g sol seco	686,00		Ss	g sol seco	686,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5496	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2090
	Temperatura	Tse	°C	24,40	Temperatura	Tss	°C	25,70
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4568		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4572

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2586594,61	3770,55		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2809376,28	4095,30		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,40	1763,27	58,78	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1438,51	47,95	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		324,75	10,83	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2221,86
Sale (S):	g agua
	1974,64
Perdidas (P):	g agua
	247,21

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	21,10 °C
p2 =	691,86 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	45,25 %	
T(amb)se =	21,10 °C	
E =	18,62 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,43 mmHg	
H's =	0,007587 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007645 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,28 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,23 %	
Tgs =	47,67 °C	
E =	81,24 mmHg	
Pr=	13,50 °C	
e =	11,56 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010410 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010519 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,24 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,86

Clave	V3T1t3
Fecha	15-feb-00
Inicio	10:10:00
Fin	10:25:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	6,16	Materia	V	m/s	6,16	
		G	g air seco	74761,98		G	g air seco	74761,98	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007645	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010519	
		Tge	°C	50,97		Tgs	°C	47,67	
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4653		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4643	
		Le(Tge)	cal/g ag	571,08		Le(Tgs)	cal/g ag	573,37	
Parámetros				Parámetros					

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2021,00	Materia	Sh	g sol humedo	1389,16
		Ss	g sol seco	1143,00		Ss	g sol seco	1143,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4344	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1772
		Tse	°C	21,10		Tss	°C	23,95
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4558		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4567
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1266058,91	1107,66		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1543182,11	1350,12		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,90	680,31	45,35	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		437,86	29,19	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		242,45	16,16	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1449,56
Sale (S):	g agua
	1032,58
Perdidas (P):	g agua
	416,98

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,85 °C
p2 =	692,46 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,75 %	
T(amb)se =	23,85 °C	
E =	22,05 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,43 mmHg	
H's =	0,008481 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008553 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,18 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,50 %	
Tgs =	47,79 °C	
E =	80,74 mmHg	
Pr=	12,56 °C	
e =	10,90 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009807 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009904 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,54 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,46

Clave	V3T2t1
Fecha	21-sep-00
Inicio	11:40:00
Fin	12:25:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	6,13	Materia	V	m/s	6,13	
		G	g air seco	222992,61		G	g air seco	222992,61	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008553	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009904	
	Temperatura	Tge	°C	45,60	Temperatura	Tgs	°C	47,79	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4643	
		Le(Tge)	cal/g ag	574,81		Le(Tgs)	cal/g ag	573,29	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1142,00	Materia	Sh	g sol humedo	679,57
		Ss	g sol seco	653,00		Ss	g sol seco	653,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4282	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0391
	Temperatura	Tse	°C	23,85	Temperatura	Tss	°C	19,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4566		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4552

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3572928,26	5471,56		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4020144,34	6156,42		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,90	2513,94	55,87	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1829,07	40,65	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		684,86	15,22	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2396,34
Sale (S):	g agua
	2235,04
Perdidas (P):	g agua
	161,30

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	25,08 °C
p2 =	692,72 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	42,25 %	
T(amb)se =	25,08 °C	
E =	23,69 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,01 mmHg	
H's =	0,009002 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009083 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,70 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	22,14 %	
Tgs =	41,63 °C	
E =	59,35 mmHg	
Pr=	15,51 °C	
e =	13,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011817 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011959 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	13,91 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,72

Clave	V3T2t2
Fecha	21-sep-00
Inicio	13:19:00
Fin	13:49:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	5,97	Materia	V	m/s	5,97	
		G	g air seco	144705,46		G	g air seco	144705,46	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009083	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011959	
	Temperatura	Tge	°C	45,45	Temperatura	Tgs	°C	41,63	
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4623	
		Le(Tge)	cal/g ag	574,91		Le(Tgs)	cal/g ag	577,57	

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1406,00	Materia	Sh	g sol humedo	936,45
		Ss	g sol seco	672,00		Ss	g sol seco	672,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5220	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2824
	Temperatura	Tse	°C	25,08	Temperatura	Tss	°C	19,20
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4570		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4551

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2366237,48	3521,19		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2609498,41	3883,18		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,20	1542,86	51,43	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1180,86	39,36	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		362,00	12,07	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2048,41
Sale (S):	g agua
	1994,95
Perdidas (P):	g agua
	53,46

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,90 °C
p2 =	692,25 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	44,75 %	
T(amb)se =	22,90 °C	
E =	17,30 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,74 mmHg	
H's =	0,006967 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007016 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,56 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	25,78 %	
Tgs =	38,74 °C	
E =	50,97 mmHg	
Pr=	15,49 °C	
e =	13,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011826 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011967 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	13,91 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,25

Clave	V3T2t3
Fecha	22-sep-00
Inicio	8:53:00
Fin	9:08:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	5,94	Materia	V	m/s	5,94
		G	g air seco	72136,93		G	g air seco	72136,93
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007016	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011967
	Temperatura	Tge	°C	46,84	Temperatura	Tgs	°C	38,74
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4640		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4614
		Le(Tge)	cal/g ag	573,95		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,58

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1523,00	Materia	Sh	g sol humedo	1060,06
		Ss	g sol seco	789,00		Ss	g sol seco	789,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4819	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2557
	Temperatura	Tse	°C	22,90	Temperatura	Tss	°C	23,75
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4563		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4566

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1121265,00	1421,12		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1334054,79	1690,82		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,90	985,55	65,70	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		715,86	47,72	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		269,70	17,98	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1240,12
Sale (S):	g agua
	1134,32
Perdidas (P):	g agua
	105,80

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	17,53 °C
p2 =	691,06 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	36,50 %	
T(amb)se =	17,53 °C	
E =	14,91 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	5,44 mmHg	
H's =	0,004906 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,004930 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	5,41 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,08 %	
Tgs =	40,62 °C	
E =	56,50 mmHg	
Pr=	6,80 °C	
e =	7,39 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,006662 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,006707 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,82 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,06

Clave	V3T3t1
Fecha	24-ene-00
Inicio	11:12:00
Fin	11:57:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	6,21	Materia	V	m/s	6,21	
		G	g air seco	226717,23		G	g air seco	226717,23	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,004930	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,006707	
		Tge	°C	40,96		Tgs	°C	40,62	
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4621		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4620	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,03		Le(Tgs)	cal/g ag	578,27	
Parámetros				Parámetros					

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2279,00	Materia	Sh	g sol humedo	1523,40
		Ss	g sol seco	1299,00		Ss	g sol seco	1299,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4300	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1473
		Tse	°C	17,53		Tss	°C	19,50
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4546		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4552
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2896325,98	2229,66		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3370528,61	2594,71		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,10	1396,77	31,04	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1031,71	22,93	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		365,05	8,11	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2097,80
Sale (S):	g agua
	1744,96
Perdidas (P):	g agua
	352,84

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	19,05 °C
p2 =	691,40 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	34,50 %	
T(amb)se =	19,05 °C	
E =	16,37 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	5,65 mmHg	
H's =	0,005089 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,005115 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	5,59 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	20,24 %	
Tgs =	35,14 °C	
E =	42,39 mmHg	
Pr=	8,94 °C	
e =	8,58 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007731 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007791 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,08 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 691,40

Clave	V3T3t2
Fecha	20-ene-00
Inicio	11:34:00
Fin	12:04:00

		ENTRA		Ud.			SALE		Ud.
AIRE	Materia	V	m/s	6,22	Materia	V	m/s	6,22	
		G	g air seco	151360,40		G	g air seco	151360,40	
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,005115	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007791	
		Tge	°C	40,36		Tgs	°C	35,14	
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2382	
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4602	
		Le(Tge)	cal/g ag	578,45		Le(Tgs)	cal/g ag	582,08	
Parámetros				Parámetros					

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3088,00	Materia	Sh	g sol humedo	2049,89
		Ss	g sol seco	1471,00		Ss	g sol seco	1471,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,5236	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2824
		Tse	°C	19,05		Tss	°C	19,20
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4551		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4551
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1941592,32	1319,91		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2282443,45	1551,63		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,50	881,03	29,37	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		649,32	21,64	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		231,71	7,72	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2391,20
Sale (S):	g agua
	1758,20
Perdidas (P):	g agua
	633,00

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	22,28 °C
p2 =	692,12 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	41,50 %	
T(amb)se =	22,28 °C	
E =	19,90 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,26 mmHg	
H's =	0,007434 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007489 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,08 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	22,89 %	
Tgs =	37,31 °C	
E =	47,01 mmHg	
Pr=	12,44 °C	
e =	10,76 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009685 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009780 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,39 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,12

Clave	V3T3t3
Fecha	21-sep-00
Inicio	9:02:00
Fin	9:17:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	6,10	Materia	V	m/s	6,10
		G	g air seco	74045,21		G	g air seco	74045,21
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007489	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009780
	Temperatura	Tge	°C	41,13	Temperatura	Tgs	°C	37,31
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4622		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4609
		Le(Tge)	cal/g ag	577,91		Ls(Tgs)	cal/g ag	580,57

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1160,00	Materia	Sh	g sol humedo	813,47
		Ss	g sol seco	611,00		Ss	g sol seco	611,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,4733	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2489
	Temperatura	Tse	°C	22,28	Temperatura	Tss	°C	28,35
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4561		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4581

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1067078,06	1746,45		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1208477,37	1977,87		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,50	707,04	47,14	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		475,61	31,71	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		231,42	15,43	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1103,56
Sale (S):	g agua
	926,65
Perdidas (P):	g agua
	176,91

Cynara.

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,33 °C
p2 =	693,20 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,00 %	
T(amb)se =	27,33 °C	
E =	26,98 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,25 mmHg	
H's =	0,009214 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009300 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,87 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	11,19 %	
Tgs =	49,99 °C	
E =	91,24 mmHg	
Pr=	11,60 °C	
e =	10,21 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009176 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009261 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,81 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,20

Clave	V1T1t1
Fecha	06-sep-00
Inicio	12:49:00
Fin	13:34:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	14,84	Materia	V	m/s	14,84
		G	g air seco	539439,34		G	g air seco	539439,34
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009300	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009261
	Temperatura	Tge	°C	50,27	Temperatura	Tgs	°C	49,99
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4650
		Le(Tge)	cal/g ag	571,56		Le(Tgs)	cal/g ag	571,76

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1535,00	Materia	Sh	g sol humedo	1189,12
		Ss	g sol seco	1106,00		Ss	g sol seco	1106,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2795	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0699
	Temperatura	Tse	°C	27,33	Temperatura	Tss	°C	45,80
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4577		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4637

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	9473842,64	8565,86		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	9576647,79	8658,81		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	4,80	3749,73	83,33	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		3656,78	81,26	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		92,95	2,07	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	5445,66
Sale (S):	g agua
	5078,85
Perdidas (P):	g agua
	366,82

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,70 °C
p2 =	692,64 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	46,25 %	
T(amb)se =	24,70 °C	
E =	23,13 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,70 mmHg	
H's =	0,009622 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009716 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,38 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,94 %	
Tgs =	47,05 °C	
E =	78,38 mmHg	
Pr=	13,67 °C	
e =	11,71 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010533 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010645 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,40 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,64

Clave	V1T1t2
Fecha	25-jul-00
Inicio	10:58:00
Fin	11:28:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	14,96	Materia	V	m/s	14,96
		G	g air seco	362384,99		G	g air seco	362384,99
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009716	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010645
	Temperatura	Tge	°C	50,21	Temperatura	Tgs	°C	47,05
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4651		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4641
		Le(Tge)	cal/g ag	571,60		Ls(Tgs)	cal/g ag	573,80

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2426,00	Materia	Sh	g sol humedo	1880,13
		Ss	g sol seco	1625,00		Ss	g sol seco	1625,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3302	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1357
	Temperatura	Tse	°C	24,70	Temperatura	Tss	°C	39,60
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4569		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4617

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco			
	6460652,39	3975,79			
Sale (S):	cal	cal/g sol seco			
	6609509,40	4067,39			
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min		
	3,50	1860,92	62,03	$A=S-E+U=R+U$	
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min		
		1769,32	58,98	$U=E+A-S$	
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min		
		91,60	3,05	$R=S-E$	

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	4321,76
Sale (S):	g agua	4112,63
Perdidas (P):	g agua	209,13

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,03 °C
p2 =	693,14 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	32,25 %	
T(amb)se =	27,03 °C	
E =	26,61 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,58 mmHg	
H's =	0,007713 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007773 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,27 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	10,19 %	
Tgs =	50,33 °C	
E =	93,13 mmHg	
Pr=	10,51 °C	
e =	9,49 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008530 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008603 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,05 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,14

Clave	V1T1t3
Fecha	19-ago-00
Inicio	13:23:00
Fin	13:38:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,11	Materia	V	m/s	15,11
		G	g air seco	183361,97		G	g air seco	183361,97
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007773	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008603
	Temperatura	Tge	°C	50,01	Temperatura	Tgs	°C	50,33
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4650		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4651
		Le(Tge)	cal/g ag	571,74		Le(Tgs)	cal/g ag	571,52

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1705,00	Materia	Sh	g sol humedo	1522,86
		Ss	g sol seco	1389,00		Ss	g sol seco	1389,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,1853	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0879
	Temperatura	Tse	°C	27,03	Temperatura	Tss	°C	40,20
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4576		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4619

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3053279,01	2198,19		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3250597,55	2340,24		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,60	995,25	66,35	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		853,19	56,88	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		142,06	9,47	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1741,32
Sale (S):	g agua
	1711,33
Perdidas (P):	g agua
	29,99

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,93 °C
p2 =	693,12 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	41,00 %	
T(amb)se =	26,93 °C	
E =	26,35 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,80 mmHg	
H's =	0,009711 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009806 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,41 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	17,21 %	
Tgs =	43,73 °C	
E =	66,30 mmHg	
Pr=	13,32 °C	
e =	11,41 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010256 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010362 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,08 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,12

Clave	V1T2t1
Fecha	25-jul-00
Inicio	14:31:00
Fin	15:16:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,40	Materia	V	m/s	15,40
		G	g air seco	559515,03		G	g air seco	559515,03
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009806	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010362
	Temperatura	Tge	°C	44,23	Temperatura	Tgs	°C	43,73
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2385	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4632		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4630
		Le(Tge)	cal/g ag	575,76		Le(Tgs)	cal/g ag	576,11

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2484,00	Materia	Sh	g sol humedo	2084,85
		Ss	g sol seco	1838,00		Ss	g sol seco	1838,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2601	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1184
	Temperatura	Tse	°C	26,93	Temperatura	Tss	°C	34,65
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4576		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4601

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	9197997,70	5004,35		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	9493708,52	5165,24		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,40	1598,26	35,52	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1437,37	31,94	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		160,89	3,58	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	6132,48
Sale (S):	g agua
	6044,53
Perdidas (P):	g agua
	87,96

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,25 °C
p2 =	693,19 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	35,00 %	
T(amb)se =	27,25 °C	
E =	26,98 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,44 mmHg	
H's =	0,008487 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008560 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,09 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	16,38 %	
Tgs =	43,68 °C	
E =	65,69 mmHg	
Pr=	12,42 °C	
e =	10,76 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009671 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009765 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,39 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,19

Clave	V1T2t2
Fecha	19-ago-00
Inicio	11:47:00
Fin	12:17:00

ENTRA				Ud.				SALE				Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	14,86	Materia	V	m/s	14,86							
		G	g air seco	360375,21		G	g air seco	360375,21							
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008560	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009765							
		Tge	°C	45,41		Tgs	°C	43,68							
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385							
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4630							
		Le(Tge)	cal/g ag	574,94		Ls(Tgs)	cal/g ag	576,14							
Parámetros															

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2062,00	Materia	Sh	g sol humedo	1693,02
		Ss	g sol seco	1435,00		Ss	g sol seco	1435,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3041	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1524
		Tse	°C	27,25		Tss	°C	42,45
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4577		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4626
Parámetros								

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5762879,81	4015,94		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6030830,95	4202,67		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,50	1505,23	50,17	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1318,50	43,95	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		186,73	6,22	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	3711,64
Sale (S):	g agua	3777,06
Perdidas (P):	g agua	-65,43

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	24,28 °C
p2 =	692,55 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	45,50 %	
T(amb)se =	24,28 °C	
E =	22,58 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,27 mmHg	
H's =	0,009242 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009328 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,99 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	20,37 %	
Tgs =	41,31 °C	
E =	58,62 mmHg	
Pr=	14,00 °C	
e =	11,94 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010741 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010858 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,64 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,55

Clave	V1T2t3
Fecha	28-jul-00
Inicio	9:50:00
Fin	10:05:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	15,74	Materia	V	m/s	15,74
		G	g air seco	190712,82		G	g air seco	190712,82
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009328	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010858
	Temperatura	Tge	°C	44,73	Temperatura	Tgs	°C	41,31
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2385	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4633		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4622
		Le(Tge)	cal/g ag	575,41		Ls(Tgs)	cal/g ag	577,79

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3140,00	Materia	Sh	g sol humedo	2812,50
		Ss	g sol seco	2385,00		Ss	g sol seco	2385,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2404	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1520
	Temperatura	Tse	°C	24,28	Temperatura	Tss	°C	29,05
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4568		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4583

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3122543,42	1309,24		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3290857,30	1379,81		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,40	507,17	33,81	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		436,60	29,11	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		70,57	4,70	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2534,03
Sale (S):	g agua
	2498,17
Perdidas (P):	g agua
	35,86

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,90 °C
p2 =	693,11 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	44,00 %
T(amb)se =	26,90 °C
E =	26,35 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
e =	11,59 mmHg
H's =	0,010421 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hge	0,010531 g vapor agua/g aire seco
Ha=	11,17 g vapor agua/m ³ aire

Salida

HRgs =	22,11 %
Tgs =	39,02 °C
E =	51,61 mmHg
Pr=	13,27 °C
e =	11,41 mmHg <i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010256 g vapor agua/g aire humedo
Hs =Hgs	0,010362 g vapor agua/g aire seco
Ha=	12,08 g vapor agua/m ³ aire

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,11

Clave	V1T3t1
Fecha	27-jul-00
Inicio	12:43:00
Fin	13:28:00

ENTRA				Ud.				SALE				Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,94	Materia	V	m/s	15,94							
		G	g air seco	578718,81		G	g air seco	578718,81							
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,010531	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010362							
	Temperatura	Tge	°C	39,72	Temperatura	Tgs	°C	39,02							
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383							
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4617		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4615							
		Le(Tge)	cal/g ag	578,89		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,38							

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2683,00	Materia	Sh	g sol humedo	2225,83
		Ss	g sol seco	1920,00		Ss	g sol seco	1920,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2844	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1374
	Temperatura	Tse	°C	26,90	Temperatura	Tss	°C	34,55
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4576		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4601

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	9144906,10	4762,97		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	9186002,14	4784,38		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,60	1170,00	26,00	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1148,60	25,52	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		21,40	0,48	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	6857,45
Sale (S):	g agua	6302,56
Perdidas (P):	g agua	554,89

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,60 °C
p2 =	693,05 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	39,50 %	
T(amb)se =	26,60 °C	
E =	25,89 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,23 mmHg	
H's =	0,009193 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009278 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,86 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	20,70 %	
Tgs =	39,06 °C	
E =	52,32 mmHg	
Pr=	12,47 °C	
e =	10,83 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009735 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009831 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,46 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,05

Clave	V1T3t2
Fecha	27-jul-00
Inicio	15:44:00
Fin	16:14:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	15,27	Materia	V	m/s	15,27
		G	g air seco	370054,57		G	g air seco	370054,57
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009278	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009831
	Temperatura	Tge	°C	40,13	Temperatura	Tgs	°C	39,06
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4618		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4615
		Le(Tge)	cal/g ag	578,61		Ls(Tgs)	cal/g ag	579,35

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3603,00	Materia	Sh	g sol humedo	3298,03
		Ss	g sol seco	2460,00		Ss	g sol seco	2460,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3172	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2541
	Temperatura	Tse	°C	26,60	Temperatura	Tss	°C	33,15
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4575		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4596

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5625214,27	2286,67		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	5781761,38	2350,31		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,80	632,20	21,07	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		568,56	18,95	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		63,64	2,12	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4576,44
Sale (S):	g agua
	4476,07
Perdidas (P):	g agua
	100,38

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	25,10 °C
p2 =	692,73 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	40,25 %	
T(amb)se =	25,10 °C	
E =	23,69 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,54 mmHg	
H's =	0,008575 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008650 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,24 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	16,88 %	
Tgs =	40,66 °C	
E =	56,99 mmHg	
Pr=	10,68 °C	
e =	9,62 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008652 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008727 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,18 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,73

Clave	V1T3t3
Fecha	07-sep-00
Inicio	12:18:00
Fin	12:33:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	16,41	Materia	V	m/s	16,41
		G	g air seco	198964,64		G	g air seco	198964,64
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008650	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008727
	Temperatura	Tge	°C	40,75	Temperatura	Tgs	°C	40,66
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4620		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4620
		Le(Tge)	cal/g ag	578,18		Ls(Tgs)	cal/g ag	578,24

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2432,00	Materia	Sh	g sol humedo	2202,59
		Ss	g sol seco	1957,00		Ss	g sol seco	1957,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,1953	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1115
	Temperatura	Tse	°C	25,10	Temperatura	Tss	°C	32,25
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4570		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4593

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2981625,65	1523,57		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3099515,18	1583,81		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,20	529,79	35,32	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		469,55	31,30	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		60,24	4,02	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2195,97
Sale (S):	g agua
	1981,99
Perdidas (P):	g agua
	213,98

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,93 °C
p2 =	693,33 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	40,00 %	
T(amb)se =	27,93 °C	
E =	27,94 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	11,18 mmHg	
H's =	0,010042 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,010144 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,73 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,09 %	
Tgs =	51,04 °C	
E =	93,90 mmHg	
Pr=	15,60 °C	
e =	13,23 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011888 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,012031 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	14,01 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,33

Clave	V2T1t1
Fecha	01-ago-00
Inicio	11:54:00
Fin	12:39:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	10,35	Materia	V	m/s	10,35
		G	g air seco	375911,73		G	g air seco	375911,73
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,010144	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,012031
	Temperatura	Tge	°C	50,85	Temperatura	Tgs	°C	51,04
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2388
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4653		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4653
		Le(Tge)	cal/g ag	571,16		Le(Tgs)	cal/g ag	571,03

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3416,00	Materia	Sh	g sol humedo	2595,57
		Ss	g sol seco	2261,00		Ss	g sol seco	2261,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3381	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1289
	Temperatura	Tse	°C	27,93	Temperatura	Tss	°C	37,90
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4579		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4611

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	6867408,62	3037,33		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	7627658,75	3373,58		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	3,10	1184,61	26,32	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		848,36	18,85	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		336,25	7,47	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4968,32
Sale (S):	g agua
	4857,15
Perdidas (P):	g agua
	111,16

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,48 °C
p2 =	693,02 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	31,50 %	
T(amb)se =	26,48 °C	
E =	25,74 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,11 mmHg	
H's =	0,007289 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007342 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,82 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	9,43 %	
Tgs =	50,20 °C	
E =	91,62 mmHg	
Pr=	9,10 °C	
e =	8,64 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007767 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007828 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,15 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,02

Clave	V2T1t2
Fecha	04-ago-00
Inicio	10:39:00
Fin	11:09:00

ENTRA				Ud.				SALE				Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,21	Materia	V	m/s	10,21							
		G	g air seco	247905,56		G	g air seco	247905,56							
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007342	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007828							
	Temperatura	Tge	°C	49,99	Temperatura	Tgs	°C	50,20							
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2387	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387							
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4650		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4651							
		Le(Tge)	cal/g ag	571,76		Le(Tgs)	cal/g ag	571,61							

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2209,00	Materia	Sh	g sol humedo	1868,72
		Ss	g sol seco	1637,00		Ss	g sol seco	1637,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2589	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1240
	Temperatura	Tse	°C	26,48	Temperatura	Tss	°C	43,80
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4575		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4630

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	4062533,69	2481,69		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4303559,46	2628,93		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,40	1266,71	42,22	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		1119,47	37,32	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		147,24	4,91	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2392,21
Sale (S):	g agua
	2172,28
Perdidas (P):	g agua
	219,94

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	30,45 °C
p2 =	693,86 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	25,25 %	
T(amb)se =	30,45 °C	
E =	32,47 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,20 mmHg	
H's =	0,007361 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007416 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,81 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	11,41 %	
Tgs =	48,82 °C	
E =	85,98 mmHg	
Pr=	11,03 °C	
e =	9,81 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008808 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008886 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,38 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,86

Clave	V2T1t3
Fecha	01-ago-00
Inicio	14:44:00
Fin	14:59:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	9,72	Materia	V	m/s	9,72
		G	g air seco	117995,40		G	g air seco	117995,40
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007416	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008886
	Temperatura	Tge	°C	50,57	Temperatura	Tgs	°C	48,82
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4652		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4646
		Le(Tge)	cal/g ag	571,35		Ls(Tgs)	cal/g ag	572,57

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3363,00	Materia	Sh	g sol humedo	2653,11
		Ss	g sol seco	2322,00		Ss	g sol seco	2322,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3095	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1248
	Temperatura	Tse	°C	30,45	Temperatura	Tss	°C	32,05
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4587		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4593

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1982632,00	853,85		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2319869,38	999,08		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,90	334,88	22,33	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		189,65	12,64	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		145,24	9,68	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1916,05
Sale (S):	g agua
	1379,67
Perdidas (P):	g agua
	536,39

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,48 °C
p2 =	693,24 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	34,75 %	
T(amb)se =	27,48 °C	
E =	27,29 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,48 mmHg	
H's =	0,008522 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008596 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,12 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,01 %	
Tgs =	45,05 °C	
E =	71,45 mmHg	
Pr=	11,28 °C	
e =	10,01 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008996 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009077 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,60 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,24

Clave	V2T2t1
Fecha	02-ago-00
Inicio	11:49:00
Fin	

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	10,09	Materia	V	m/s	10,09
		G	g air seco	367031,16		G	g air seco	367031,16
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008596	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009077
	Temperatura	Tge	°C	44,46	Temperatura	Tgs	°C	45,05
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco.°C	0,2385	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco.°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag.°C	0,4632		Cpv(Tgs)	cal/g ag.°C	0,4634
		Le(Tge)	cal/g ag	575,60		Ls(Tgs)	cal/g ag	575,19

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3023,00	Materia	Sh	g sol humedo	2232,45
		Ss	g sol seco	2013,00		Ss	g sol seco	2013,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3341	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0983
	Temperatura	Tse	°C	27,48	Temperatura	Tss	°C	41,05
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco.°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco.°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag.°C(20/50)	0,4578		Cpv(Tss)	cal/g ag.°C	0,4621

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5803900,40	2883,21		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	6274994,37	3117,24		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,40	1030,10	22,89	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		796,08	17,69	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		234,03	5,20	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	4164,90
Sale (S):	g agua
	3551,17
Perdidas (P):	g agua
	613,73

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	28,25 °C
p2 =	693,40 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	32,00 %	
T(amb)se =	28,25 °C	
E =	28,60 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,15 mmHg	
H's =	0,008223 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008291 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,78 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	13,54 %	
Tgs =	45,40 °C	
E =	72,45 mmHg	
Pr=	11,03 °C	
e =	9,81 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008814 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008892 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,38 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,40

Clave	V2T2t2
Fecha	02-ago-00
Inicio	13:29:00
Fin	13:59:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,66	Materia	V	m/s	10,66
		G	g air seco	258588,35		G	g air seco	258588,35
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008291	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008892
	Temperatura	Tge	°C	44,85	Temperatura	Tgs	°C	45,40
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2385	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4634		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4635
		Le(Tge)	cal/g ag	575,33		Ls(Tgs)	cal/g ag	574,95

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2976,00	Materia	Sh	g sol humedo	2541,50
		Ss	g sol seco	2327,00		Ss	g sol seco	2327,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2181	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0844
	Temperatura	Tse	°C	28,25	Temperatura	Tss	°C	41,70
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4580		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4623

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	4074261,00	1750,86		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4409214,81	1894,81		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,50	556,94	18,56	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		413,00	13,77	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		143,94	4,80	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2792,96
Sale (S):	g agua
	2513,97
Perdidas (P):	g agua
	278,98

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,28 °C
p2 =	692,98 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	37,00 %	
T(amb)se =	26,28 °C	
E =	25,43 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,41 mmHg	
H's =	0,008459 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008531 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,09 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	16,47 %	
Tgs =	43,44 °C	
E =	65,76 mmHg	
Pr=	12,46 °C	
e =	10,83 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009736 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009832 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,46 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,98

Clave	V2T2t3
Fecha	02-ago-00
Inicio	9:33:00
Fin	9:48:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,11	Materia	V	m/s	10,11
		G	g air seco	122594,08		G	g air seco	122594,08
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008531	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009832
	Temperatura	Tge	°C	45,22	Temperatura	Tgs	°C	43,44
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4635		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4629
		Le(Tge)	cal/g ag	575,07		Le(Tgs)	cal/g ag	576,31

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3058,00	Materia	Sh	g sol humedo	2412,61
		Ss	g sol seco	2112,00		Ss	g sol seco	2112,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3094	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1246
	Temperatura	Tse	°C	26,28	Temperatura	Tss	°C	39,00
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4574		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4615

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1975197,78	935,23		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2286910,48	1082,82		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,00	409,09	27,27	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		261,50	17,43	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		147,59	9,84	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1991,86
Sale (S):	g agua
	1505,96
Perdidas (P):	g agua
	485,90

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,50 °C
p2 =	693,24 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	29,00 %	
T(amb)se =	27,50 °C	
E =	27,29 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,91 mmHg	
H's =	0,007112 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007163 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,61 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	17,45 %	
Tgs =	38,60 °C	
E =	50,20 mmHg	
Pr=	9,30 °C	
e =	8,76 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007872 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007935 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,27 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,24

Clave	V2T3t1
Fecha	03-ago-00
Inicio	14:35:00
Fin	15:20:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,48	Materia	V	m/s	10,48
		G	g air seco	381759,92		G	g air seco	381759,92
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007163	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007935
	Temperatura	Tge	°C	39,85	Temperatura	Tgs	°C	38,60
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4618		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4614
		Le(Tge)	cal/g ag	578,80		Le(Tgs)	cal/g ag	579,67

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2748,00	Materia	Sh	g sol humedo	2384,04
		Ss	g sol seco	1840,00		Ss	g sol seco	1840,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3304	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2282
	Temperatura	Tse	°C	27,50	Temperatura	Tss	°C	31,95
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4578		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4592

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	5287130,14	2873,44		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	5494300,51	2986,03		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,80	845,22	18,78	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		732,62	16,28	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		112,59	2,50	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	3642,61
Sale (S):	g agua
	3573,26
Perdidas (P):	g agua
	69,35

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,05 °C
p2 =	693,14 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	32,25 %	
T(amb)se =	27,05 °C	
E =	26,61 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,58 mmHg	
H's =	0,007713 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007773 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,27 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,27 %	
Tgs =	38,66 °C	
E =	50,57 mmHg	
Pr=	10,10 °C	
e =	9,24 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008305 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008374 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,78 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,14

Clave	V2T3t2
Fecha	03-ago-00
Inicio	12:26:00
Fin	12:56:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	10,40	Materia	V	m/s	10,40
		G	g air seco	252410,93		G	g air seco	252410,93
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007773	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008374
	Temperatura	Tge	°C	39,53	Temperatura	Tgs	°C	38,66
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2383	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2383
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4616		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4614
		Le(Tge)	cal/g ag	579,03		Le(Tgs)	cal/g ag	579,63

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2080,00	Materia	Sh	g sol humedo	1868,56
		Ss	g sol seco	1649,00		Ss	g sol seco	1649,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2072	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1175
	Temperatura	Tse	°C	27,05	Temperatura	Tss	°C	32,50
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4577		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4594

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3569848,79	2164,86		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3709256,48	2249,40		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,30	681,14	22,70	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		596,60	19,89	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		84,54	2,82	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2393,05
Sale (S):	g agua
	2333,37
Perdidas (P):	g agua
	59,68

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,10 °C
p2 =	692,94 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	36,00 %	
T(amb)se =	26,10 °C	
E =	25,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,05 mmHg	
H's =	0,008137 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,008204 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,74 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,55 %	
Tgs =	39,91 °C	
E =	54,29 mmHg	
Pr=	11,44 °C	
e =	10,07 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009054 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009136 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,66 g vapor agua/m ³ aire	

Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,94

Fecha	07-sep-00
Inicio	13:19:00
Fin	13:34:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	9,97	Materia	V	m/s	9,97
		G	g air seco	120935,70		G	g air seco	120935,70
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,008204	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009136
	Temperatura	Tge	°C	40,31	Temperatura	Tgs	°C	39,91
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4618
		Le(Tge)	cal/g ag	578,48		Le(Tgs)	cal/g ag	578,76

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1260,00	Materia	Sh	g sol humedo	1007,44
		Ss	g sol seco	894,00		Ss	g sol seco	894,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2905	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1126
	Temperatura	Tse	°C	26,10	Temperatura	Tss	°C	32,65
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4574		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4594

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1766384,09	1975,82		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1928473,61	2157,13		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,80	773,15	51,54	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		591,85	39,46	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		181,31	12,09	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1358,11
Sale (S):	g agua
	1218,34
Perdidas (P):	g agua
	139,77

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,75 °C
p2 =	693,08 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	31,75 %	
T(amb)se =	26,75 °C	
E =	26,20 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,32 mmHg	
H's =	0,007477 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007534 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	8,02 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	8,42 %	
Tgs =	55,06 °C	
E =	115,91 mmHg	
Pr=	10,91 °C	
e =	9,76 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,008773 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,008851 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,33 g vapor agua/m ³ aire	

Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,08

Fecha	07-ago-00
Inicio	14:14:00
Fin	14:59:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,35	Materia	V	m/s	6,35
		G	g air seco	231229,39		G	g air seco	231229,39
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007534	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,008851
		Tge	°C	51,78		Tgs	°C	55,06
	Temperatura	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Temperatura	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2389
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4656		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4666
		Le(Tge)	cal/g ag	570,51		Le(Tgs)	cal/g ag	568,23
Parámetros				Parámetros				

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2859,00	Materia	Sh	g sol humedo	2355,04
		Ss	g sol seco	2173,00		Ss	g sol seco	2173,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2399	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0773
		Tse	°C	26,75		Tss	°C	42,50
	Temperatura	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Temperatura	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4576		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4626
Parámetros				Parámetros				

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3922174,51	1804,96		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4518243,34	2079,27		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	2,10	834,97	18,55	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		560,67	12,46	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		274,31	6,10	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua	2428,01
Sale (S):	g agua	2228,60
Perdidas (P):	g agua	199,41

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,70 °C
p2 =	693,28 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	29,00 %	
T(amb)se =	27,70 °C	
E =	27,62 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,01 mmHg	
H's =	0,007198 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007250 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,70 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	10,37 %	
Tgs =	51,96 °C	
E =	99,04 mmHg	
Pr=	11,70 °C	
e =	10,27 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009229 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009315 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,87 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,28

Clave	V3T1t2
Fecha	07-ago-00
Inicio	15:54:00
Fin	16:24:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	6,26	Materia	V	m/s	6,26
		G	g air seco	152010,89		G	g air seco	152010,89
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007250	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009315
	Temperatura	Tge	°C	50,80	Temperatura	Tgs	°C	51,96
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2388
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4653		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4656
		Le(Tge)	cal/g ag	571,19		Ls(Tgs)	cal/g ag	570,39

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2695,00	Materia	Sh	g sol humedo	2097,41
		Ss	g sol seco	1912,00		Ss	g sol seco	1912,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2905	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0884
	Temperatura	Tse	°C	27,70	Temperatura	Tss	°C	44,40
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4579		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4632

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2526372,56	1321,32		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3011474,45	1575,04		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,40	632,64	21,09	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		378,92	12,63	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		253,71	8,46	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1885,08
Sale (S):	g agua
	1601,37
Perdidas (P):	g agua
	283,71

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,40 °C
p2 =	693,01 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	32,00 %	
T(amb)se =	26,40 °C	
E =	25,58 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	8,19 mmHg	
H's =	0,007359 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007413 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,90 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	11,83 %	
Tgs =	50,29 °C	
E =	92,14 mmHg	
Pr=	12,56 °C	
e =	10,90 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009799 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009896 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,54 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,01

Clave	V3T1t3
Fecha	09-ago-00
Inicio	13:01:00
Fin	13:16:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,06	Materia	V	m/s	6,06
		G	g air seco	73565,23		G	g air seco	73565,23
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007413	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009896
	Temperatura	Tge	°C	50,58	Temperatura	Tgs	°C	50,29
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2388	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2387
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4652		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4651
		Le(Tge)	cal/g ag	571,35		Ls(Tgs)	cal/g ag	571,55

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	3170,00	Materia	Sh	g sol humedo	2677,40
		Ss	g sol seco	2162,00		Ss	g sol seco	2162,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3180	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1925
	Temperatura	Tse	°C	26,40	Temperatura	Tss	°C	38,90
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4574		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4614

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1243462,86	575,14		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1552731,31	718,19		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,80	319,70	21,31	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		176,66	11,78	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		143,05	9,54	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1553,36
Sale (S):	g agua
	1243,39
Perdidas (P):	g agua
	309,97

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,03 °C
p2 =	693,14 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	40,00 %	
T(amb)se =	27,03 °C	
E =	26,61 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,64 mmHg	
H's =	0,009567 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009659 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,25 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	14,97 %	
Tgs =	46,80 °C	
E =	77,69 mmHg	
Pr=	13,62 °C	
e =	11,63 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010453 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010564 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,31 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,14

Clave	V3T2t1
Fecha	18-ago-00
Inicio	12:03:00
Fin	12:48:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,32	Materia	V	m/s	6,32
		G	g air seco	229652,47		G	g air seco	229652,47
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009659	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010564
	Temperatura	Tge	°C	45,54	Temperatura	Tgs	°C	46,80
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4640
		Le(Tge)	cal/g ag	574,85		Ls(Tgs)	cal/g ag	573,97

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2250,00	Materia	Sh	g sol humedo	1798,08
		Ss	g sol seco	1651,00		Ss	g sol seco	1651,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2662	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,0818
	Temperatura	Tse	°C	27,03	Temperatura	Tss	°C	35,10
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4576		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4602

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3838900,50	2325,20		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	4228341,11	2561,08		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,50	784,98	17,44	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		549,10	12,20	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		235,88	5,24	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2817,29
Sale (S):	g agua
	2573,03
Perdidas (P):	g agua
	244,26

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	28,98 °C
p2 =	693,55 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	26,50 %	
T(amb)se =	28,98 °C	
E =	29,61 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,85 mmHg	
H's =	0,007048 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007098 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,51 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	11,40 %	
Tgs =	46,55 °C	
E =	76,84 mmHg	
Pr=	9,32 °C	
e =	8,76 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,007869 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,007931 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,27 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,55

Clave	V3T2t2
Fecha	09-ago-00
Inicio	15:29:00
Fin	15:59:00

ENTRA				Ud.				SALE				Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,53	Materia	V	m/s	6,53							
		G	g air seco	158591,12		G	g air seco	158591,12							
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007098	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,007931							
	Temperatura	Tge	°C	45,72	Temperatura	Tgs	°C	46,55							
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2386							
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4636		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4639							
		Le(Tge)	cal/g ag	574,72		Le(Tgs)	cal/g ag	574,15							

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2766,00	Materia	Sh	g sol humedo	2381,94
		Ss	g sol seco	1957,00		Ss	g sol seco	1957,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2925	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1784
	Temperatura	Tse	°C	28,98	Temperatura	Tss	°C	37,80
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4583		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4611

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2429825,44	1241,61		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2704071,69	1381,74		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,10	485,64	16,19	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		345,51	11,52	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		140,14	4,67	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1934,75
Sale (S):	g agua
	1682,77
Perdidas (P):	g agua
	251,99

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	23,58 °C
p2 =	692,40 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	36,75 %	
T(amb)se =	23,58 °C	
E =	21,65 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	7,96 mmHg	
H's =	0,007159 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,007211 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	7,75 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	17,05 %	
Tgs =	44,12 °C	
E =	67,33 mmHg	
Pr=	13,44 °C	
e =	11,48 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,010329 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,010437 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	12,15 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,40

Clave	V3T2t3
Fecha	09-ago-00
Inicio	10:07:00
Fin	10:22:00

ENTRA				SALE				
		Ud.				Ud.		
AIRE	Materia	V	m/s	6,40	Materia	V	m/s	6,40
		G	g air seco	77708,29		G	g air seco	77708,29
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,007211	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,010437
	Temperatura	Tge	°C	46,06	Temperatura	Tgs	°C	44,12
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2386	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2385
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4637		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4631
		Le(Tge)	cal/g ag	574,49		Ls(Tgs)	cal/g ag	575,84

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2707,00	Materia	Sh	g sol humedo	2319,71
		Ss	g sol seco	1827,00		Ss	g sol seco	1827,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3251	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2124
	Temperatura	Tse	°C	23,58	Temperatura	Tss	°C	30,60
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4565		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4588

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1211252,71	662,97		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1482243,15	811,30		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,70	331,03	22,07	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		182,71	12,18	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		148,33	9,89	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	1440,32
Sale (S):	g agua
	1303,76
Perdidas (P):	g agua
	136,56

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	28,48 °C
p2 =	693,45 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	34,50 %	
T(amb)se =	28,48 °C	
E =	28,93 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	9,98 mmHg	
H's =	0,008967 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009048 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	9,57 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	18,15 %	
Tgs =	40,38 °C	
E =	55,87 mmHg	
Pr=	11,49 °C	
e =	10,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009110 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009194 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,73 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,75
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,45

Clave	V3T3t1
Fecha	16-ago-00
Inicio	12:21:00
Fin	13:06:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,11	Materia	V	m/s	6,11
		G	g air seco	222156,11		G	g air seco	222156,11
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009048	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009194
	Temperatura	Tge	°C	40,26	Temperatura	Tgs	°C	40,38
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4619
		Le(Tge)	cal/g ag	578,52		Ls(Tgs)	cal/g ag	578,44

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	1863,00	Materia	Sh	g sol humedo	1623,33
		Ss	g sol seco	1386,00		Ss	g sol seco	1386,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2560	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1462
	Temperatura	Tse	°C	28,48	Temperatura	Tss	°C	35,35
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4581		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4603

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	3351271,62	2417,94		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	3484113,28	2513,79		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	1,00	623,38	13,85	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		527,53	11,72	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		95,85	2,13	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2487,07
Sale (S):	g agua
	2279,75
Perdidas (P):	g agua
	207,32

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	27,33 °C
p2 =	693,20 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	38,75 %	
T(amb)se =	27,33 °C	
E =	26,98 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,45 mmHg	
H's =	0,009396 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009485 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,06 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	20,13 %	
Tgs =	39,88 °C	
E =	54,15 mmHg	
Pr=	12,66 °C	
e =	10,90 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,009796 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,009893 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	11,54 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,50
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 693,20

Clave	V3T3t2
Fecha	16-ago-00
Inicio	11:14:00
Fin	11:44:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,20	Materia	V	m/s	6,20
		G	g air seco	150220,58		G	g air seco	150220,58
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009485	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,009893
	Temperatura	Tge	°C	40,27	Temperatura	Tgs	°C	39,88
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2384
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4619		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4618
		Le(Tge)	cal/g ag	578,51		Ls(Tgs)	cal/g ag	578,78

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2583,00	Materia	Sh	g sol humedo	2244,12
		Ss	g sol seco	1890,00		Ss	g sol seco	1890,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,2683	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,1578
	Temperatura	Tse	°C	27,33	Temperatura	Tss	°C	34,65
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4577		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4601

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	2318217,09	1226,57		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	2490425,53	1317,69		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,70	320,00	10,67	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		228,88	7,63	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		91,12	3,04	R=S-E

Balance de Materia:

Entra (E):	g agua
	2117,85
Sale (S):	g agua
	1840,26
Perdidas (P):	g agua
	277,60

h	818 m
Latitud	42,58 norte

g =	980,14 cm/s ²
Tamb =	26,10 °C
p2 =	692,94 mmHg

Ecuación fundamental de la estática de la atmósfera.

Entrada

HR(amb)ge =	41,50 %	
T(amb)se =	26,10 °C	
E =	25,14 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
e =	10,43 mmHg	
H's =	0,009380 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hge	0,009469 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	10,08 g vapor agua/m ³ aire	

Salida

HRgs =	28,57 %	
Tgs =	35,77 °C	
E =	43,44 mmHg	
Pr=	14,63 °C	
e =	12,41 mmHg	<i>tabla psicrométrica</i>
H's =	0,011157 g vapor agua/g aire humedo	
Hs =Hgs	0,011283 g vapor agua/g aire seco	
Ha=	13,14 g vapor agua/m ³ aire	

Tiempo (h) 0,25
 Sección (m2) 0,0121
 Densidad aire(kg/m3) 1,1230
 Pr atmosférica mmHg 692,94

Clave	V3T3t3
Fecha	16-ago-00
Inicio	10:13:00
Fin	10:28:00

ENTRA				SALE				
		Ud.			Ud.			
AIRE	Materia	V	m/s	6,46	Materia	V	m/s	6,46
		G	g air seco	78261,33		G	g air seco	78261,33
	Humedad	Hge	g ag/g air seco	0,009469	Humedad	Hgs	g ag/g air seco	0,011283
	Temperatura	Tge	°C	40,02	Temperatura	Tgs	°C	35,77
	Parámetros	Cpg(Tge)	cal/g air seco·°C	0,2384	Parámetros	Cpg(Tgs)	cal/g air seco·°C	0,2382
		Cpv(Tge)	cal/g ag·°C	0,4618		Cpv(Tgs)	cal/g ag·°C	0,4604
		Le(Tge)	cal/g ag	578,69		Le(Tgs)	cal/g ag	581,64

SOLIDO	Materia	Sh	g sol humedo	2672,00	Materia	Sh	g sol humedo	2401,42
		Ss	g sol seco	1687,00		Ss	g sol seco	1687,00
	Humedad	H'se	g ag/g sol humedo	0,3686	Humedad	H'ss	g ag/g sol humedo	0,2975
	Temperatura	Tse	°C	26,10	Temperatura	Tss	°C	27,40
	Parámetros	Cps(Tse)	cal/g sol seco·°C	0,3240	Parámetros	Cps(Tss)	cal/g sol seco·°C	0,3240
		Cpv(Tse)	cal/g ag·°C(20/50)	0,4574		Cpv(Tss)	cal/g ag·°C	0,4578

Balance de Energía:

Entra (E):	cal	cal/g sol seco		
	1215114,47	720,28		
Sale (S):	cal	cal/g sol seco		
	1321116,28	783,12		
Aporte (A):	kwh	cal/g sol seco	cal/g * min	
	0,30	153,65	10,24	A=S-E+U=R+U
Utilizadas (U):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		90,81	6,05	U=E+A-S
Reutilizables (R):		cal/g sol seco	cal/g * min	
		62,83	4,19	R=S-E

Balance de Materia:

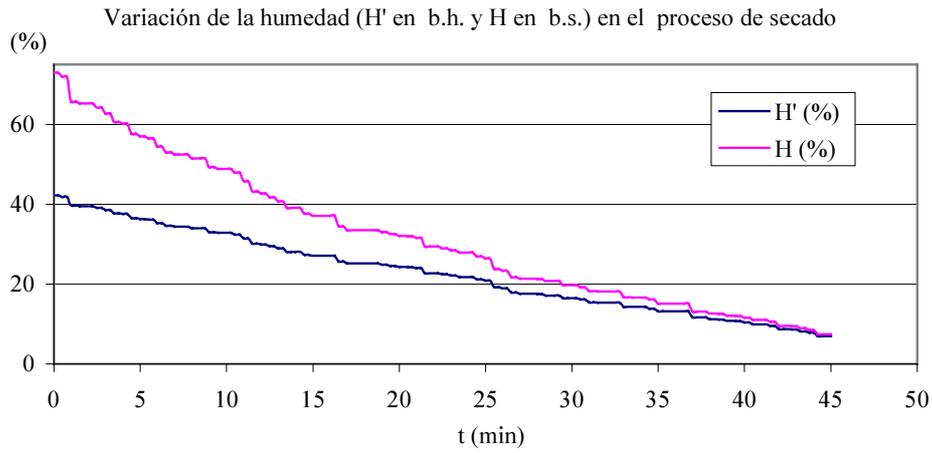
Entra (E):	g agua
	1726,04
Sale (S):	g agua
	1597,47
Perdidas (P):	g agua
	128,58

Anexo III

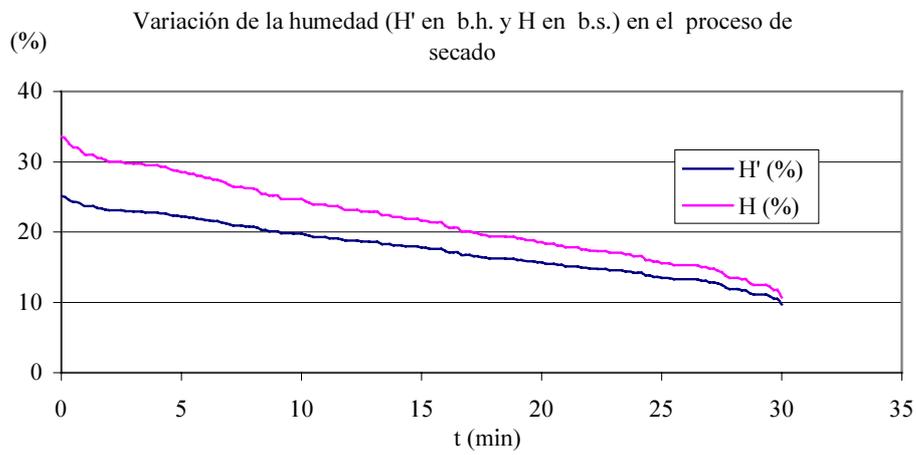
Variación de la humedad durante el secado.

Restos de Maíz.

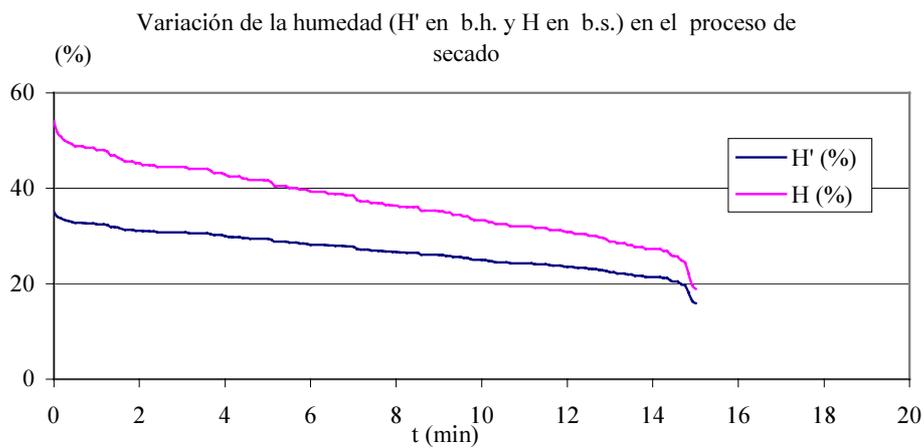
V1T1t1



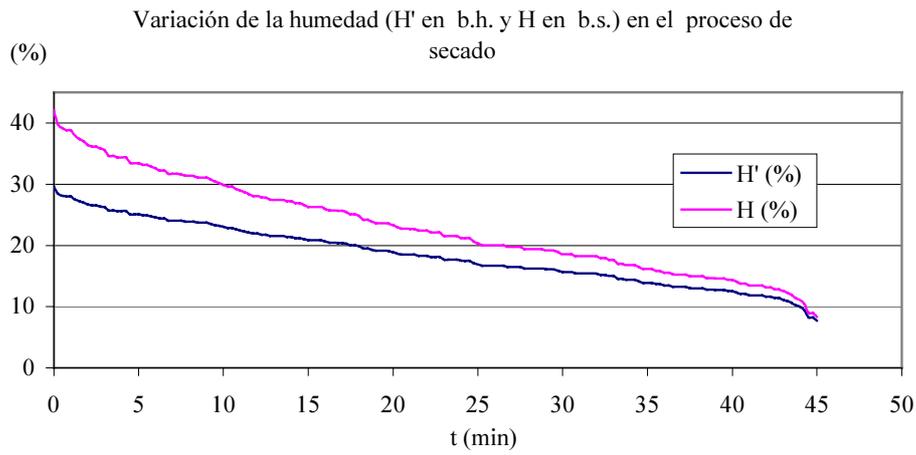
V1T1t2



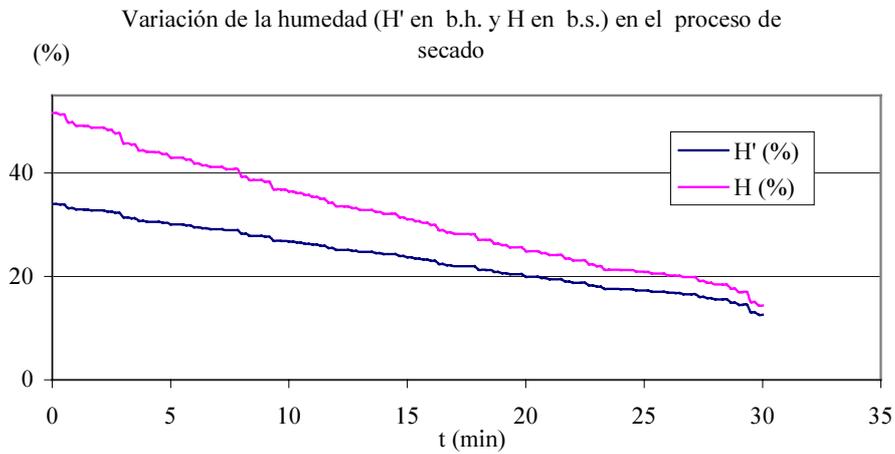
V1T1t3



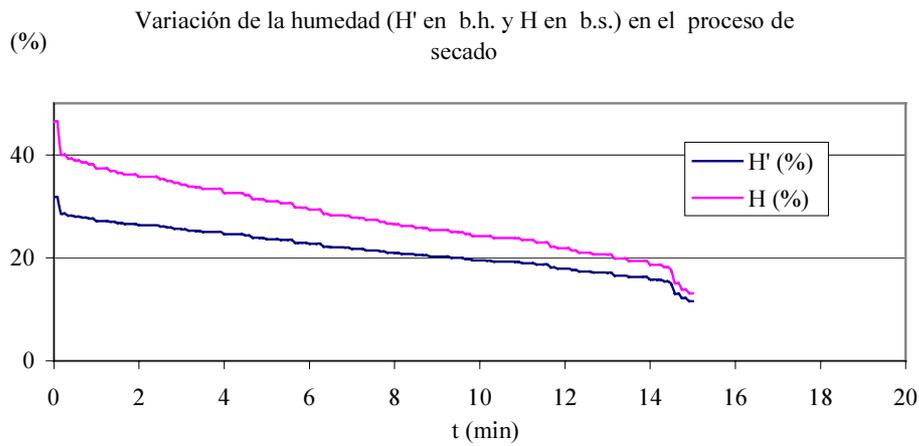
V1T2t1



V1T2t2

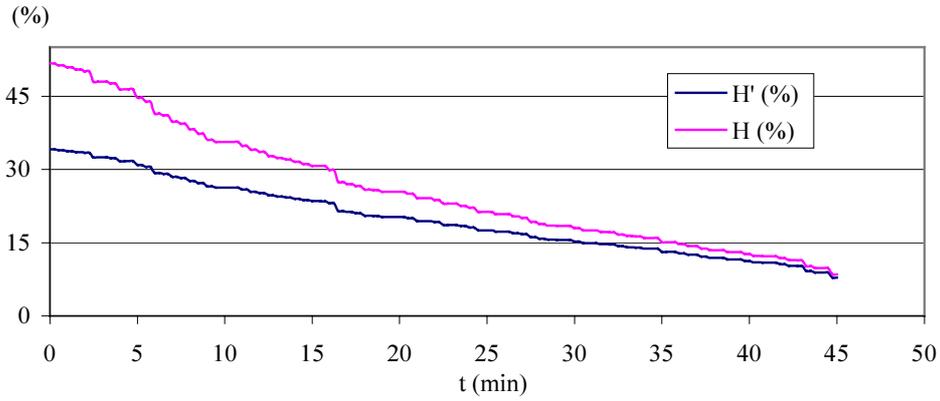


V1T2t3



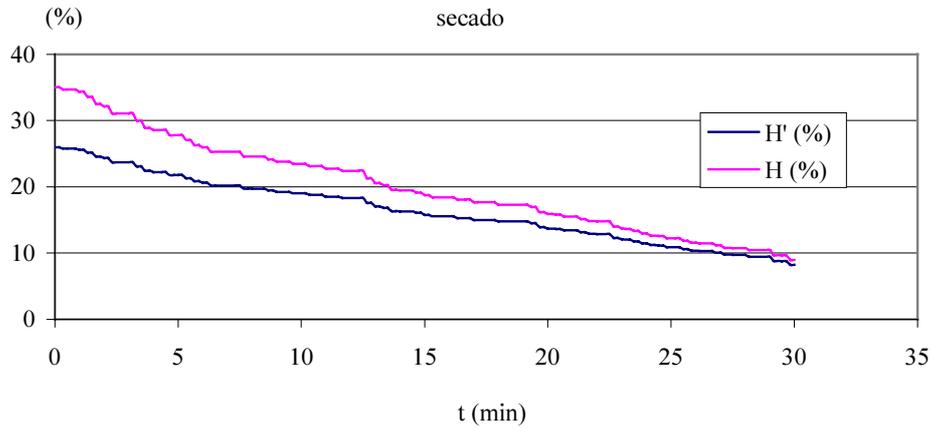
V1T3t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



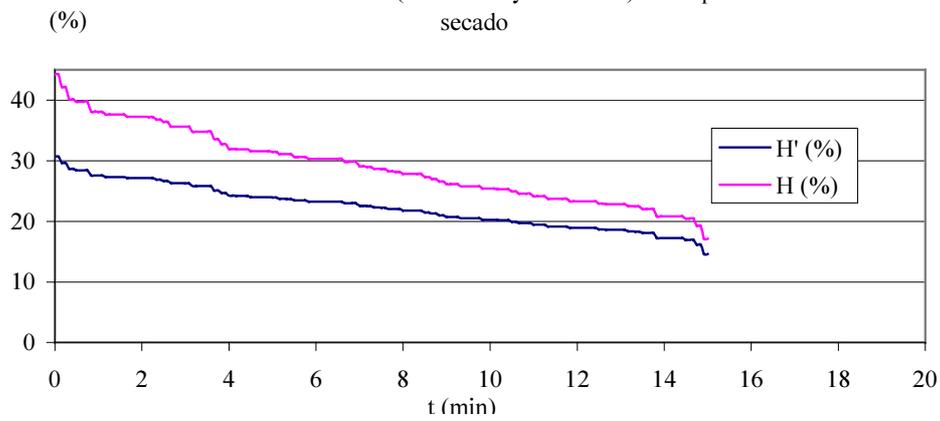
V1T3t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

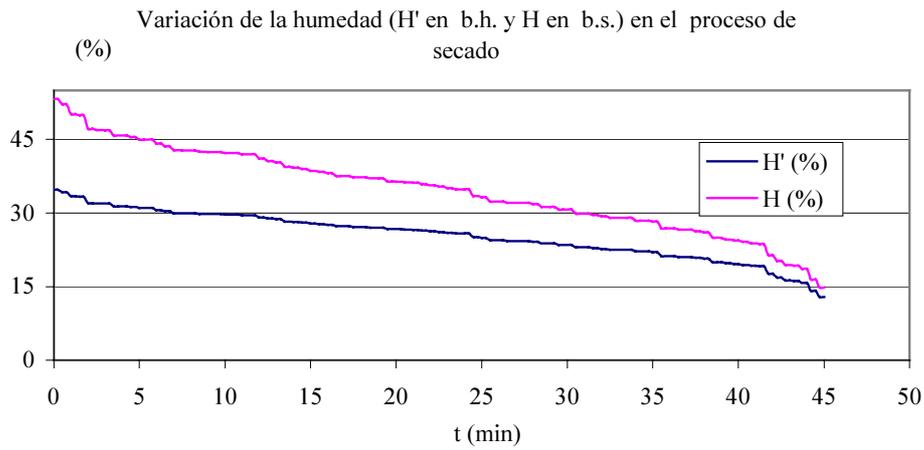


V1T3t3

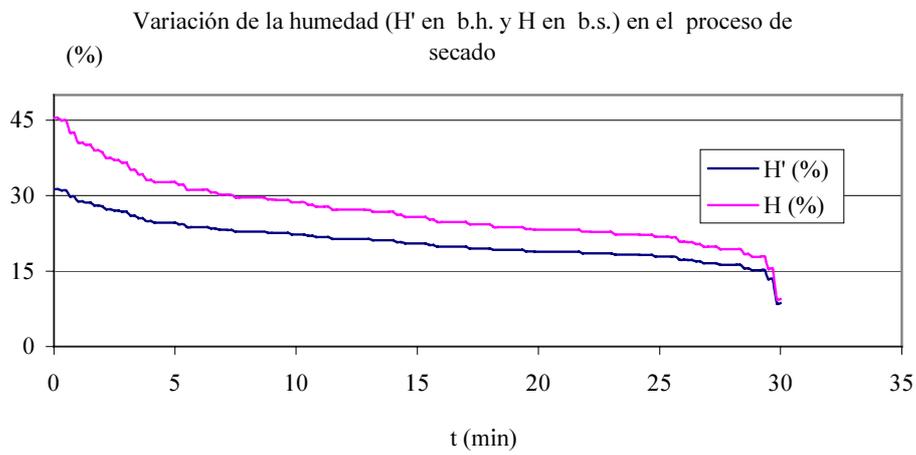
Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



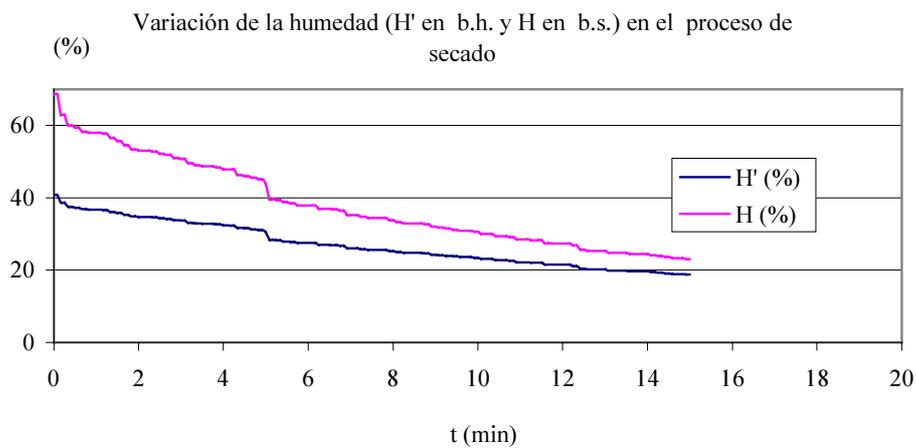
V2T1t1



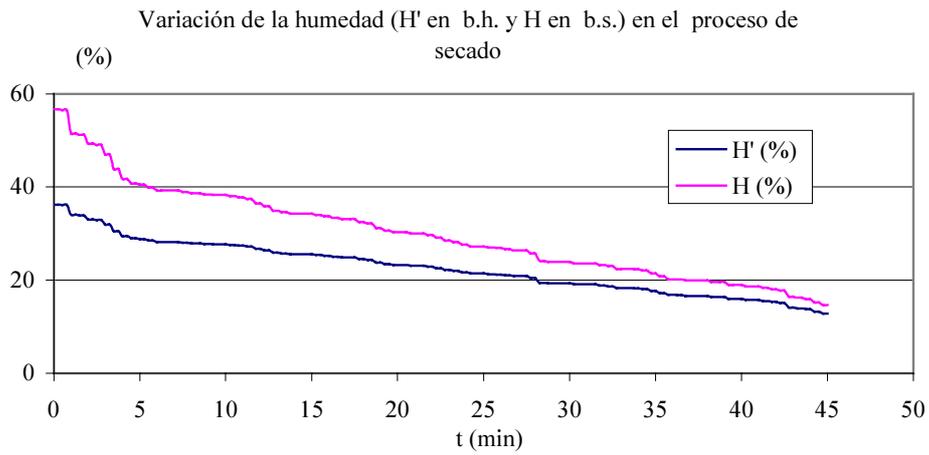
V2T1t2



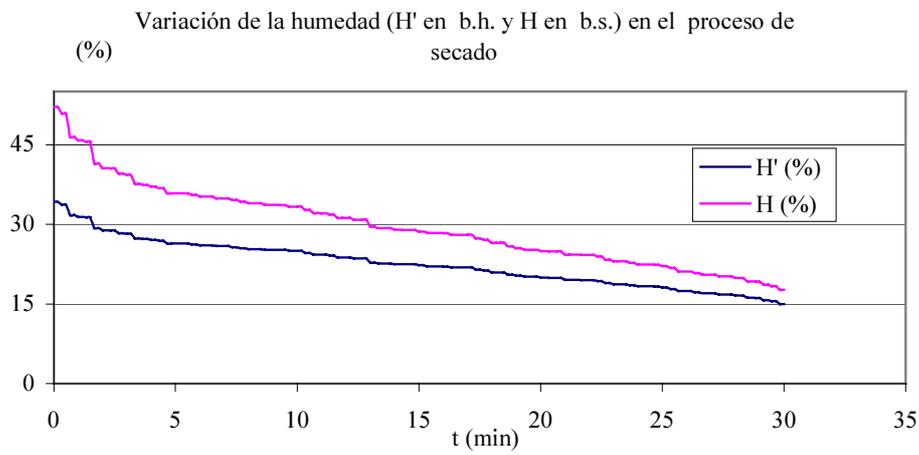
V2T1t3



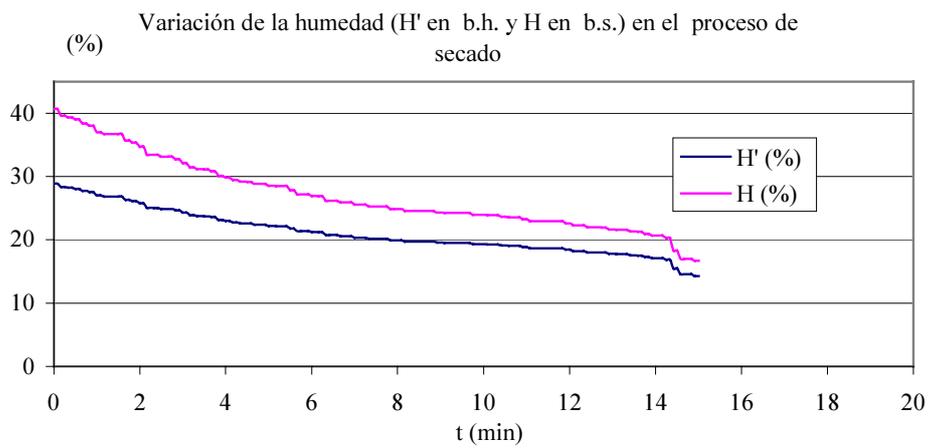
V2T2t1



V2T2t2

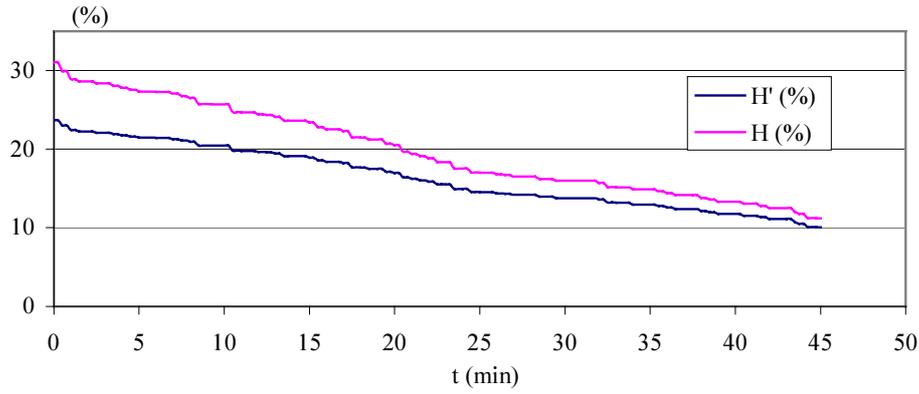


V2T2t3



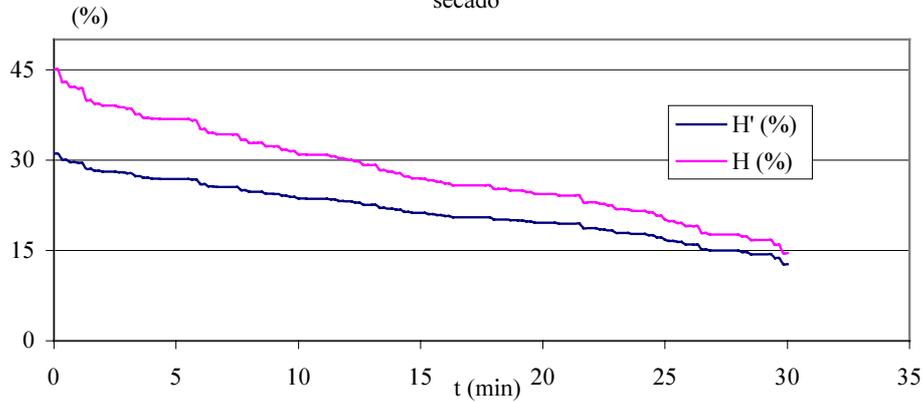
V2T3t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



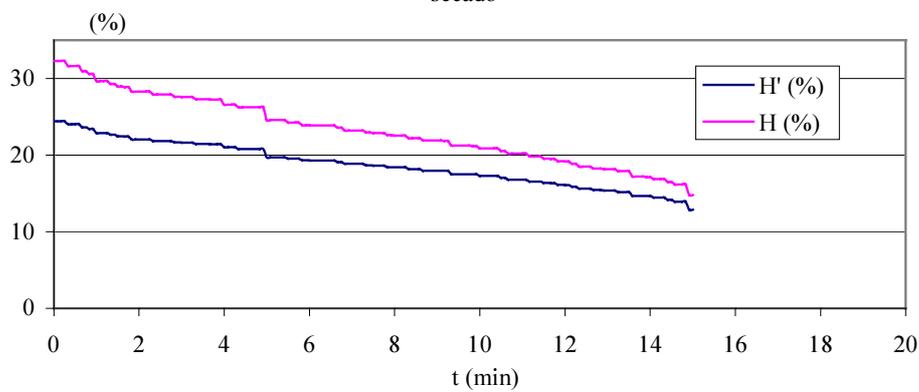
V2T3t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



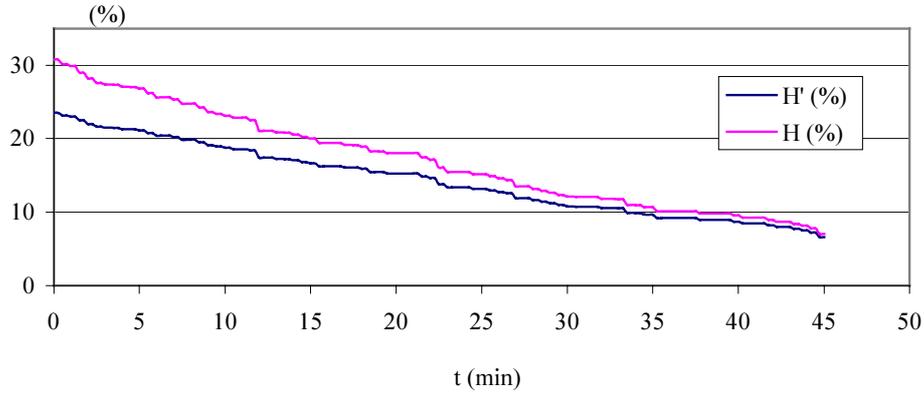
V2T3t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



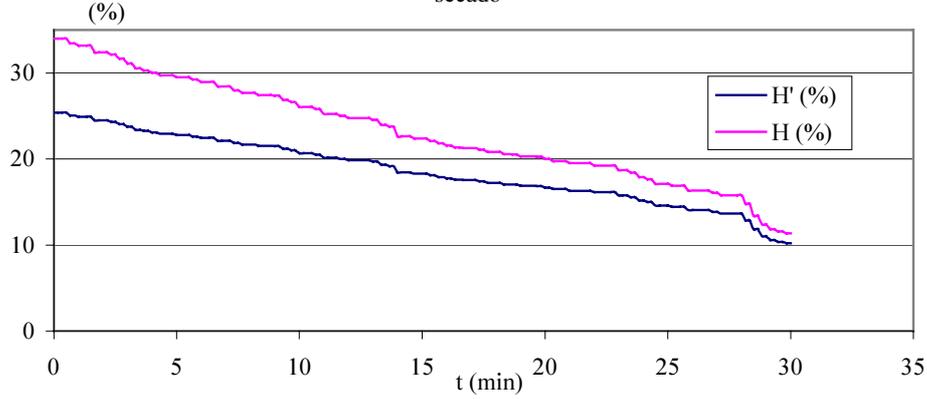
V3T1t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



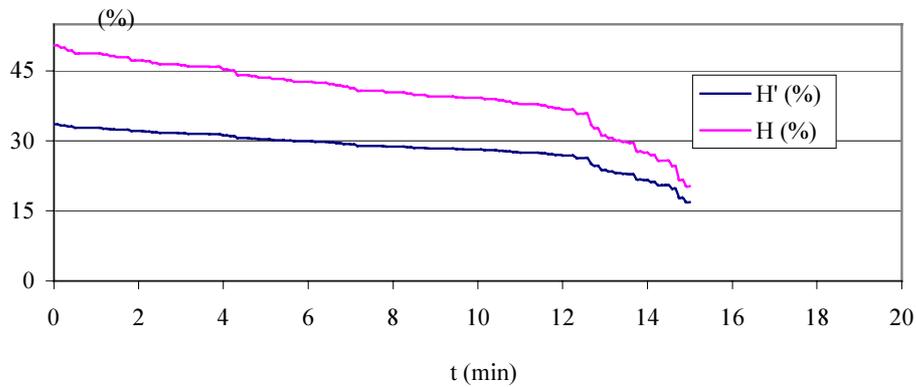
V3T1t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

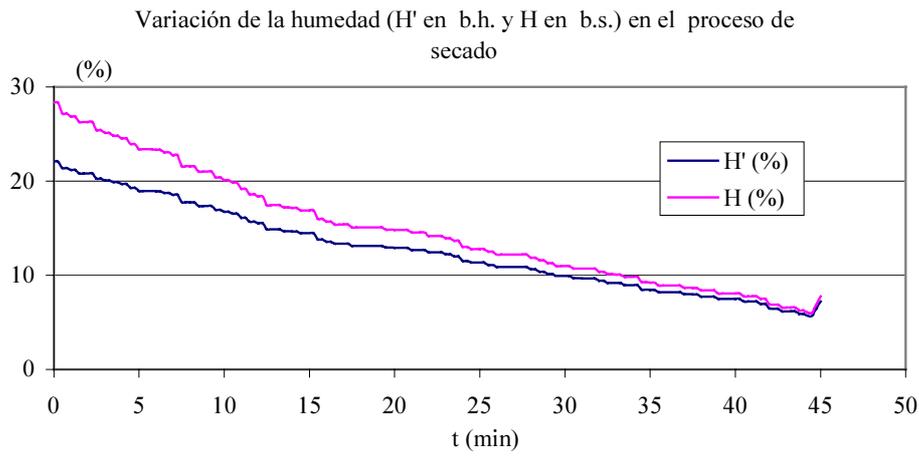


V3T1t3

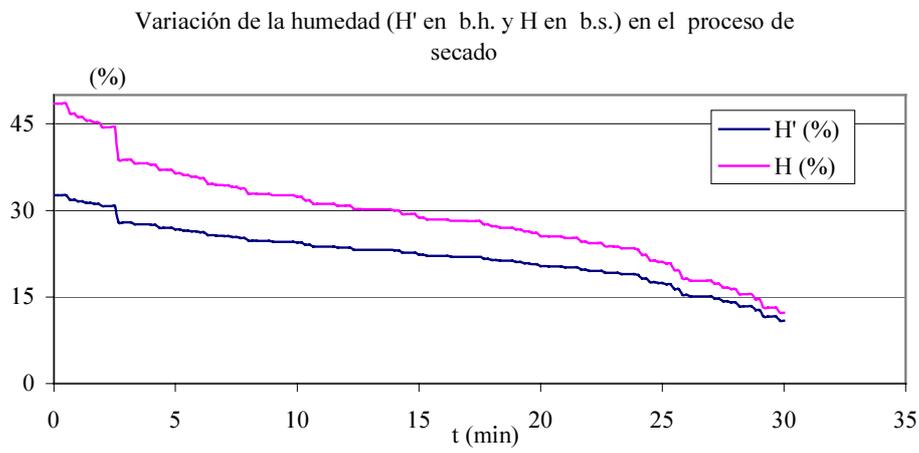
Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



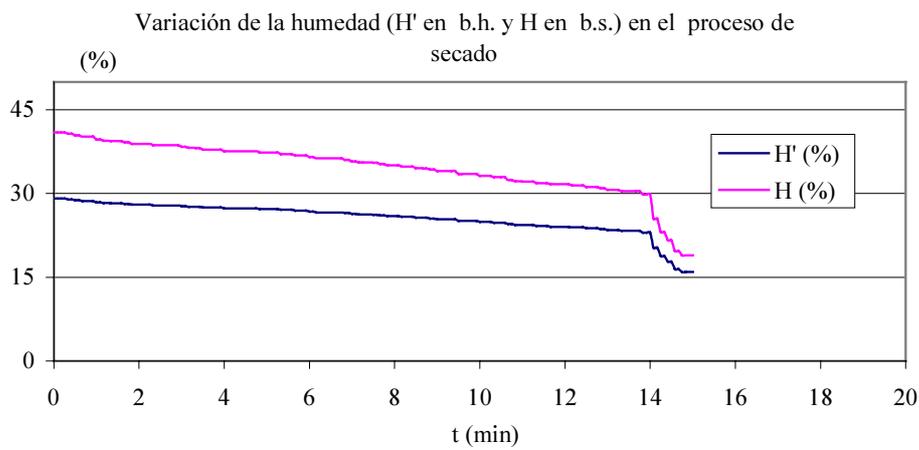
V3T2t1



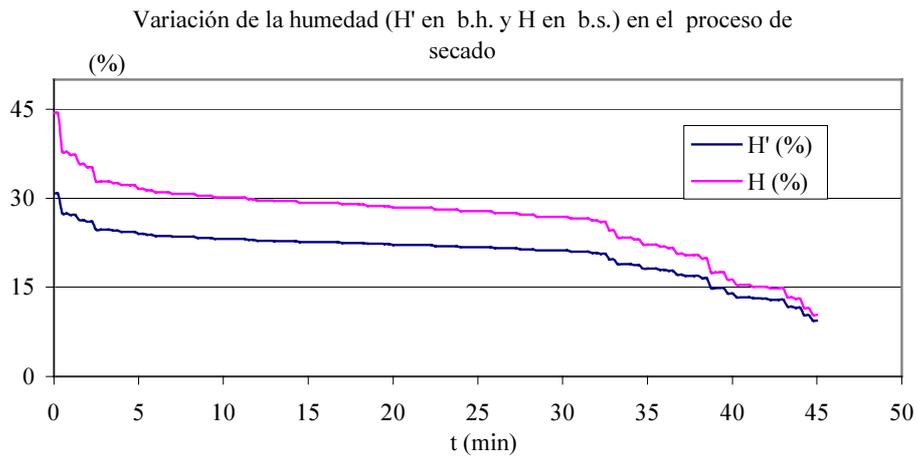
V3T2t2



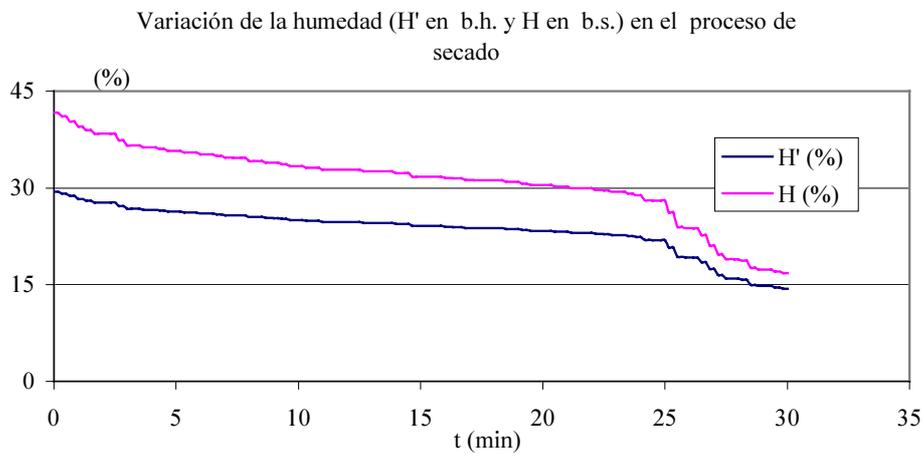
V3T2t3



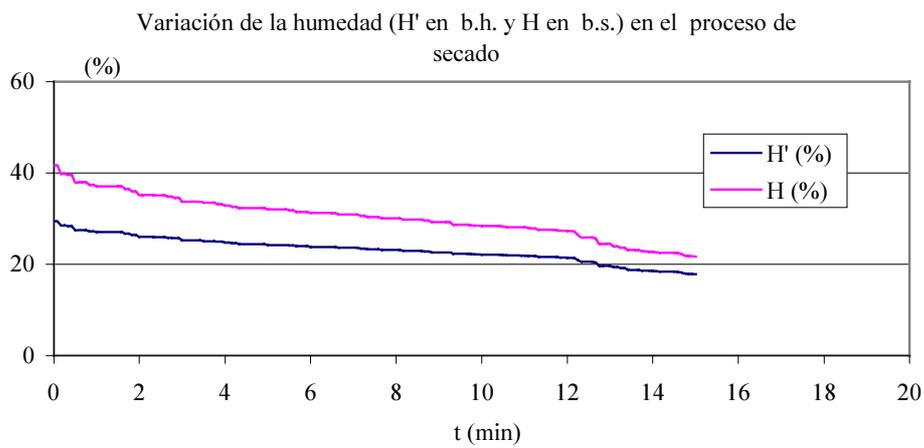
V3T3t1



V3T3t2



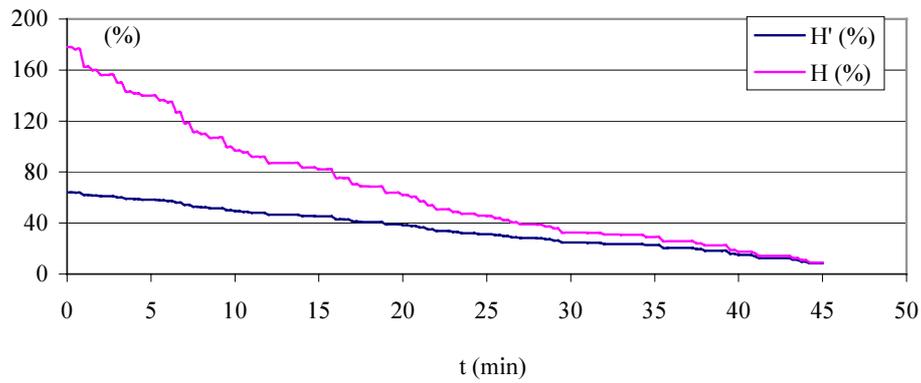
V3T3t3



Restos de Cebada.

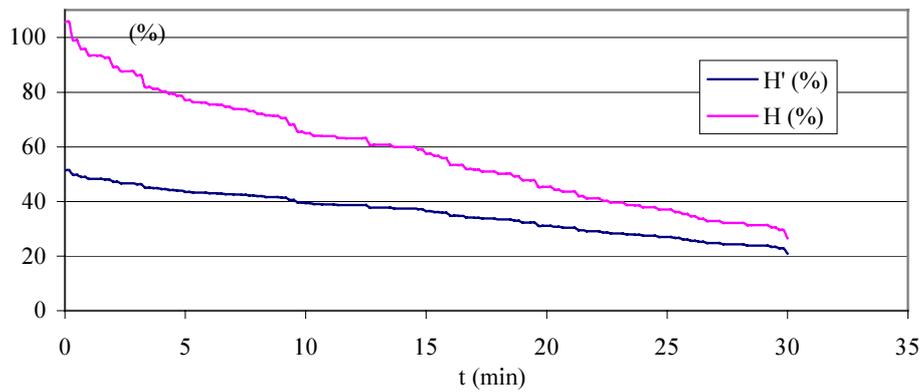
V1T1t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



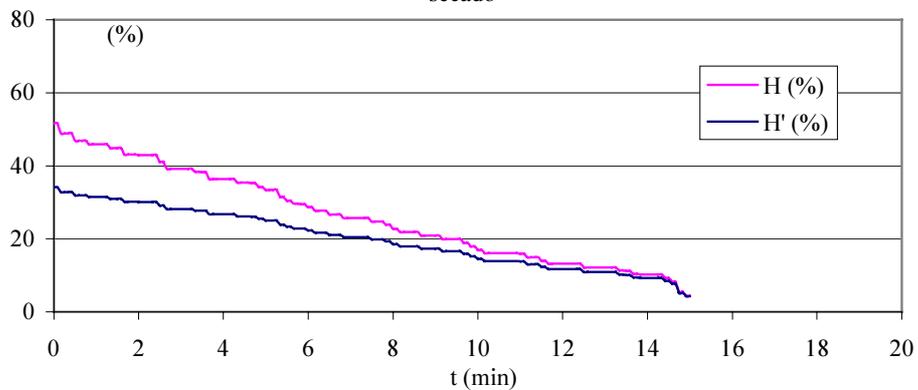
V1T1t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



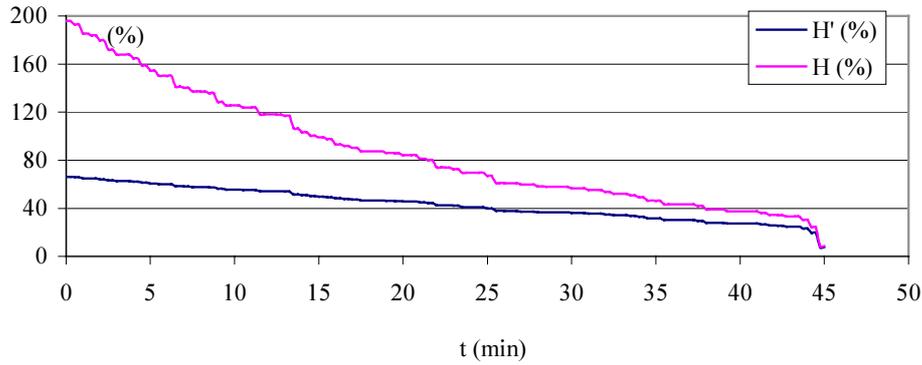
V1T1t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



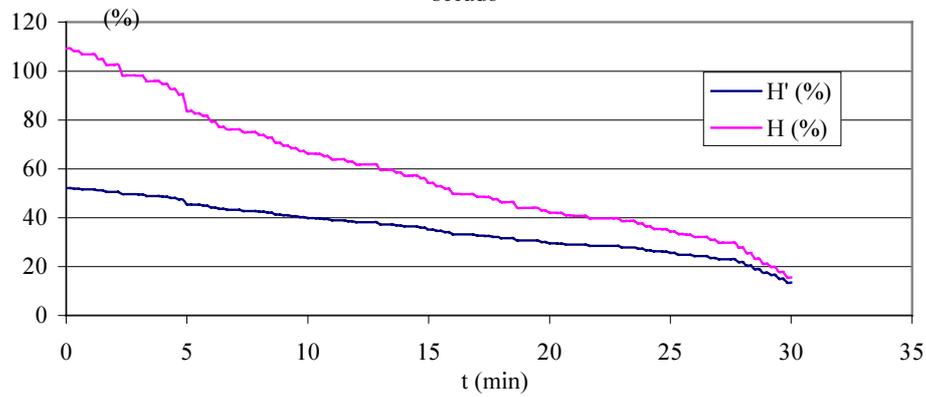
V1T2t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



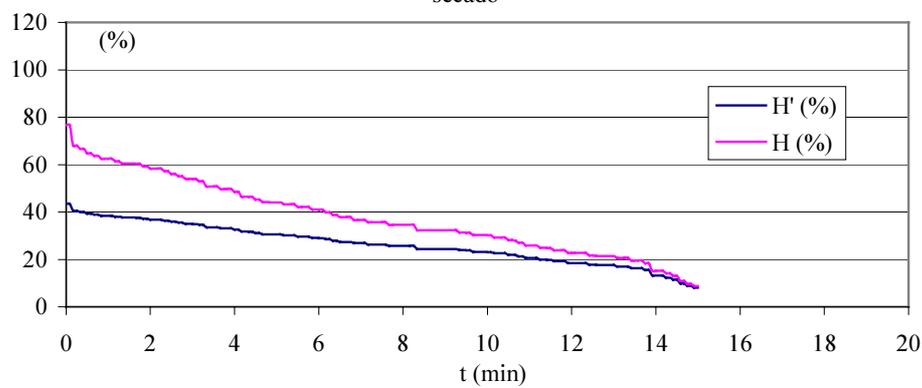
V1T2t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



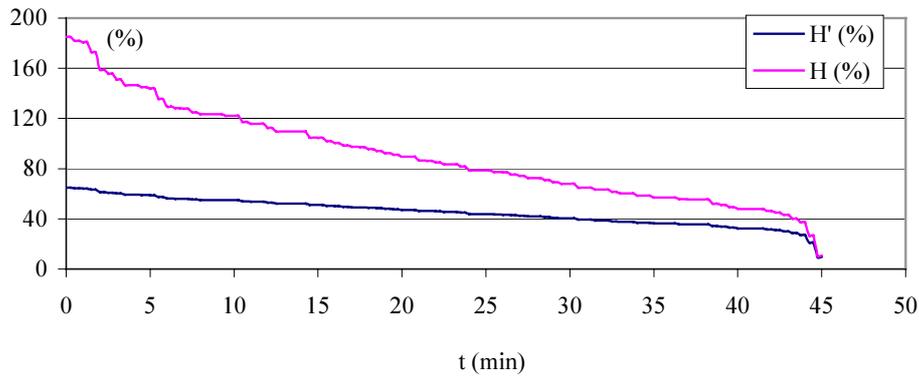
V1T2t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



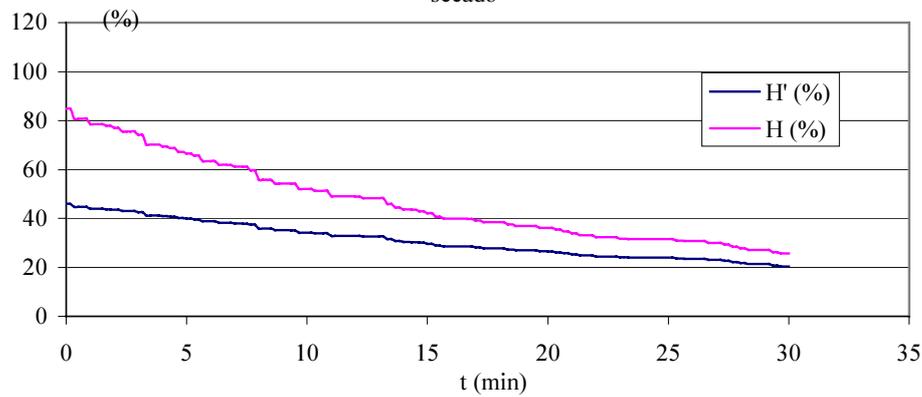
V1T3t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



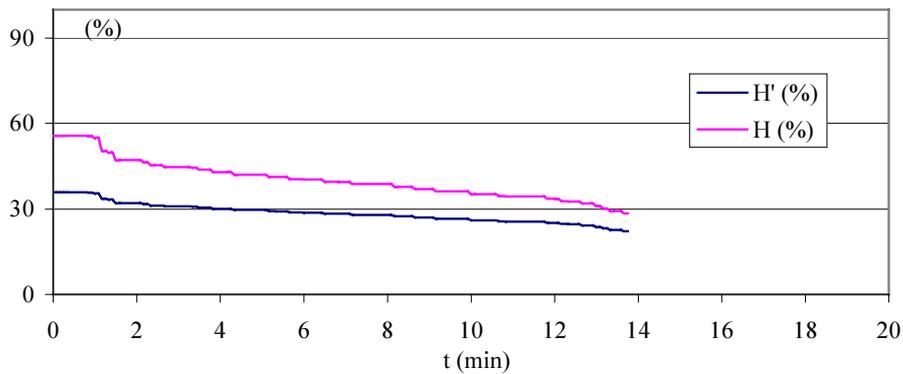
V1T3t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



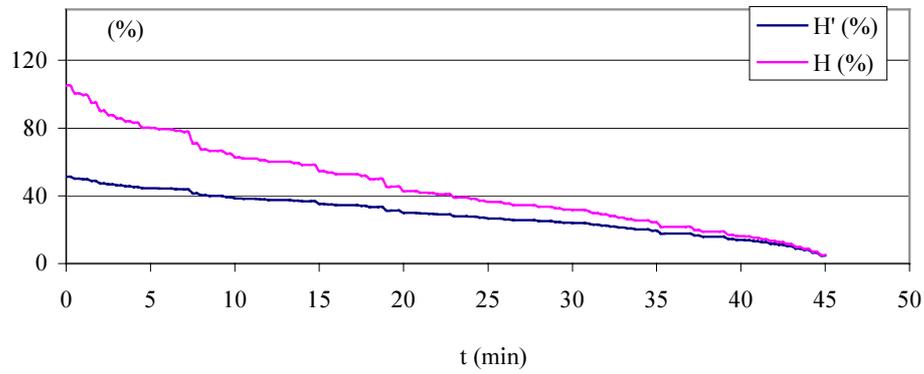
V1T3t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



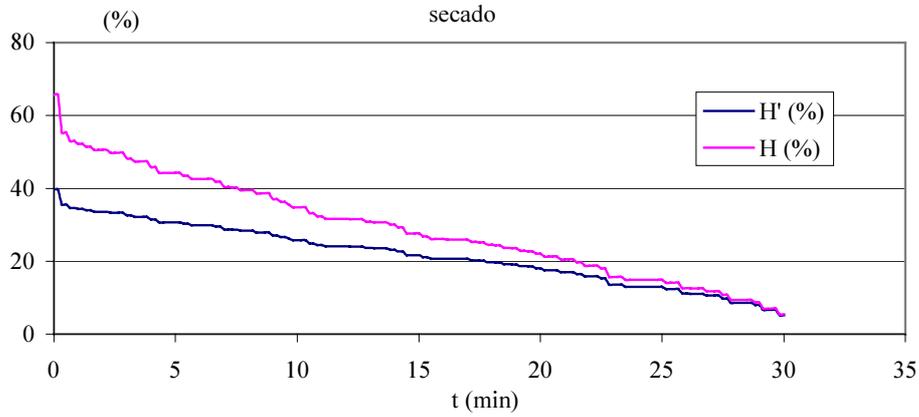
V2T1t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



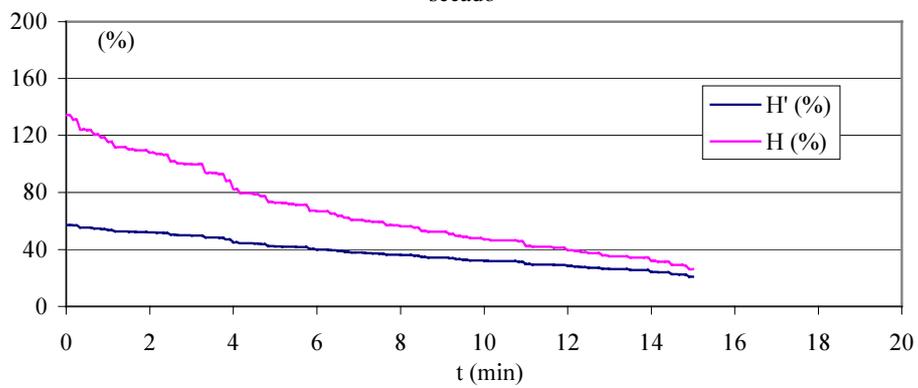
V2T1t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



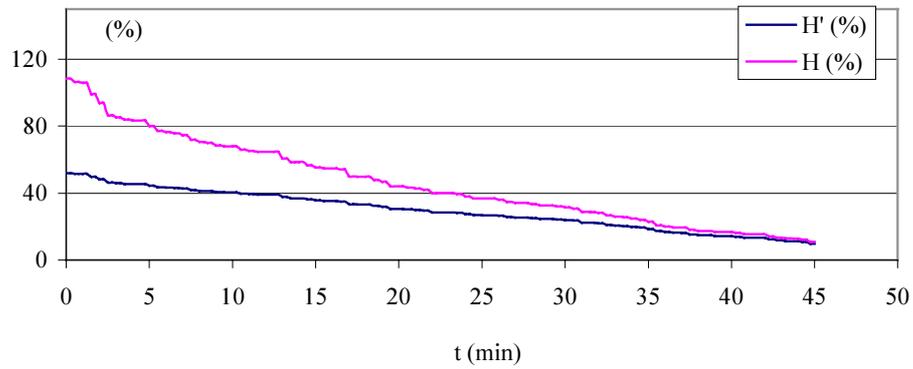
V2T1t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



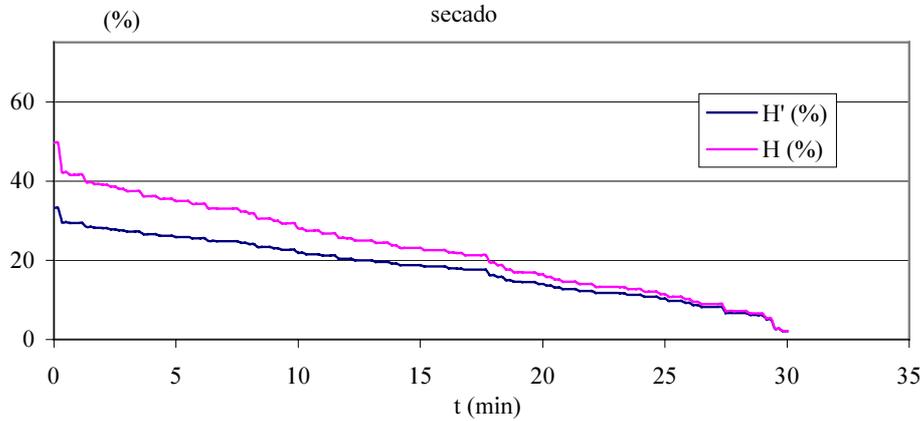
V2T2t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



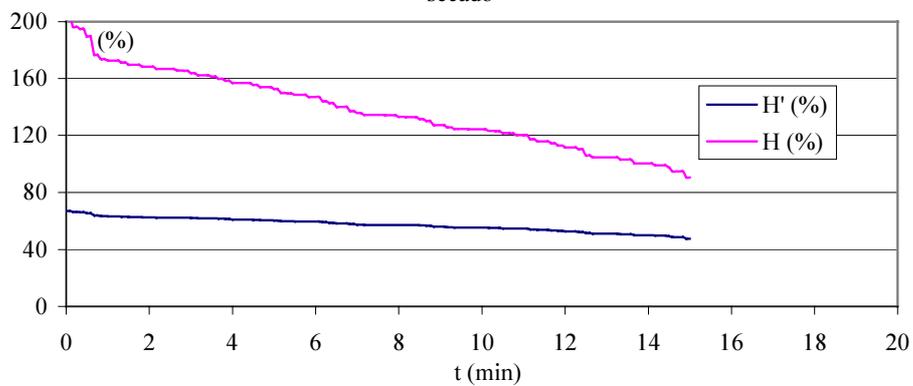
V2T2t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



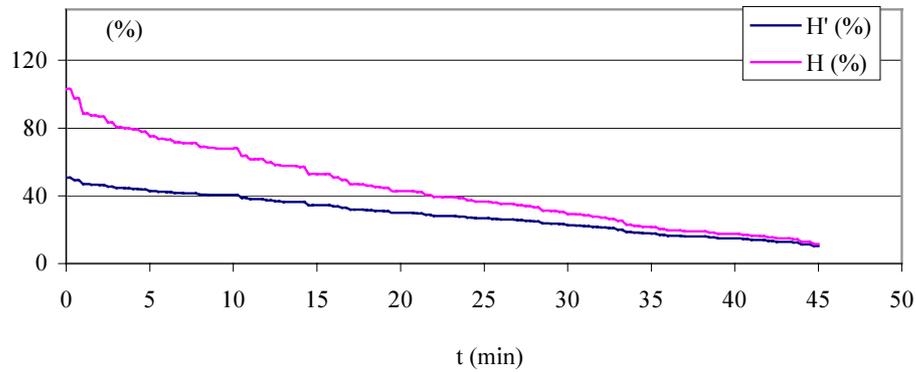
V2T2t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



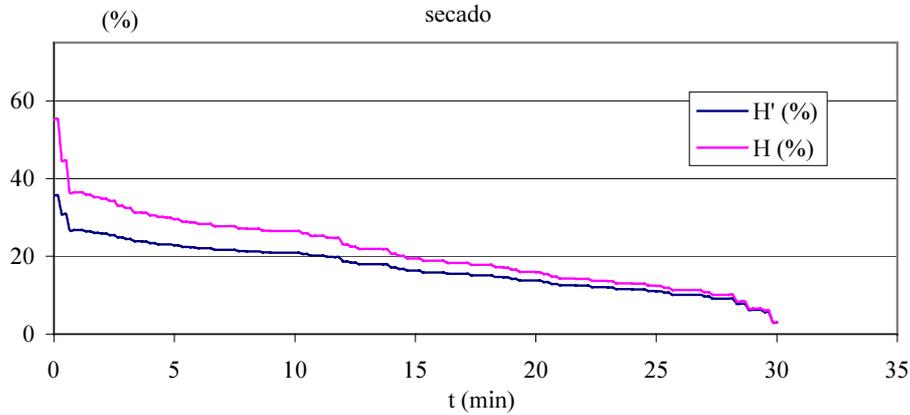
V2T3t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



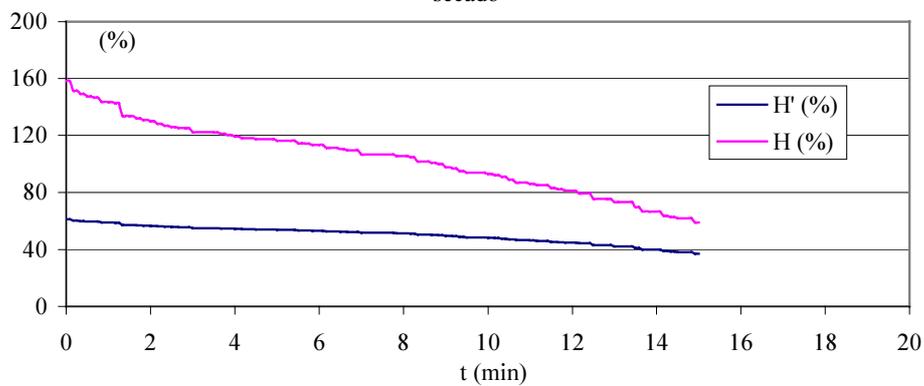
V2T3t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



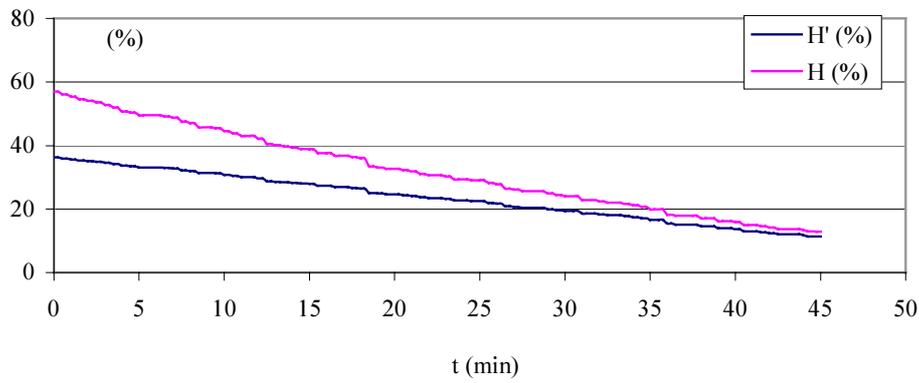
V2T3t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



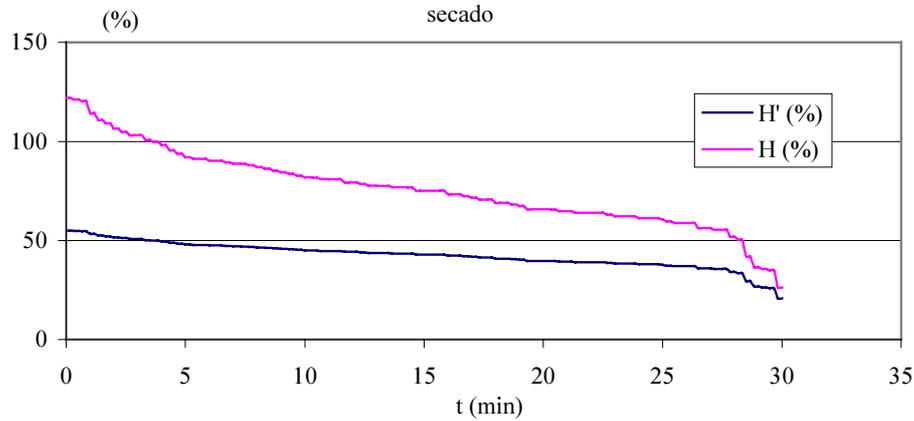
V3T1t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



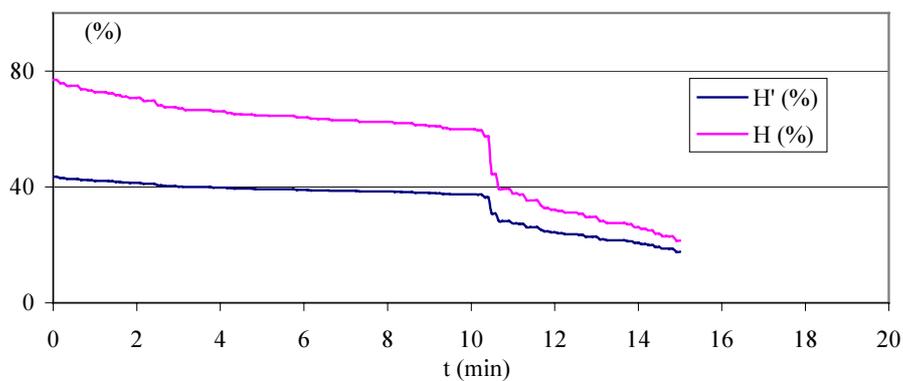
V3T1t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



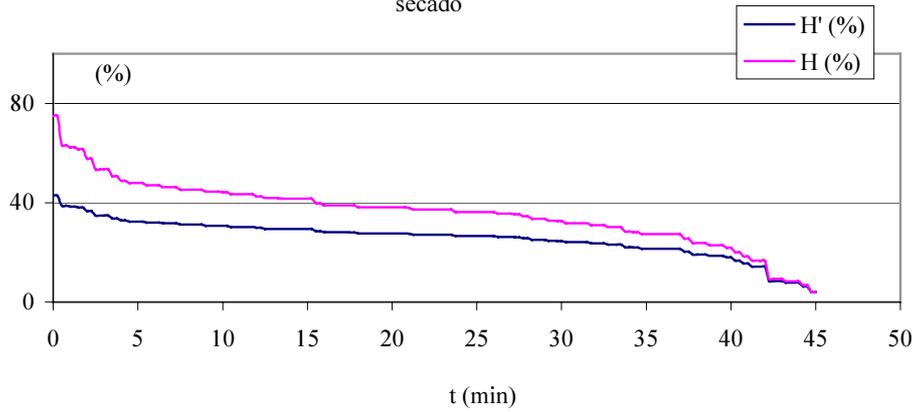
V3T1t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



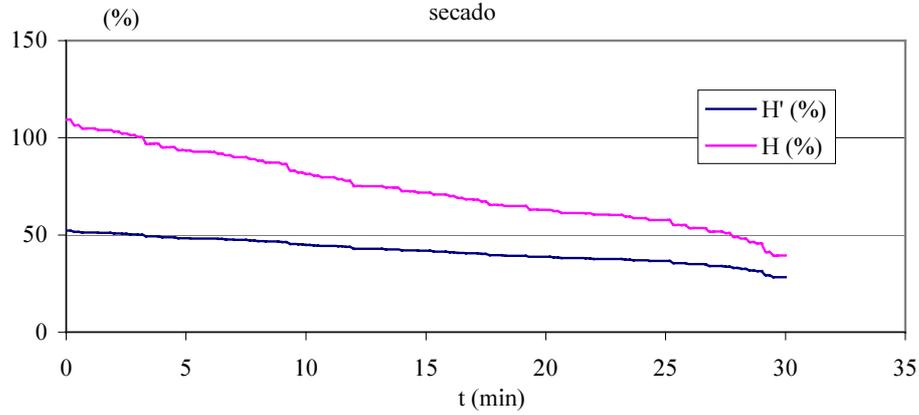
V3T2t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



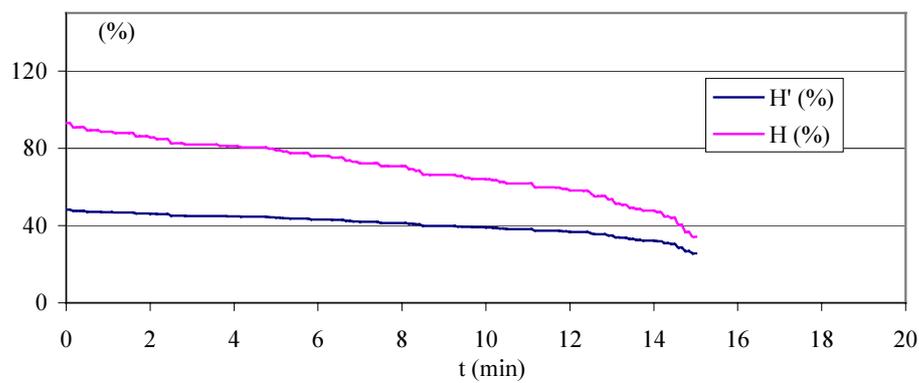
V3T2t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



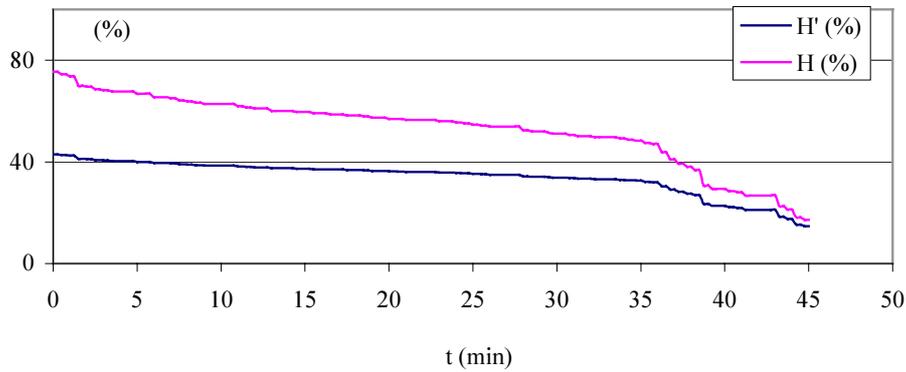
V3T2t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



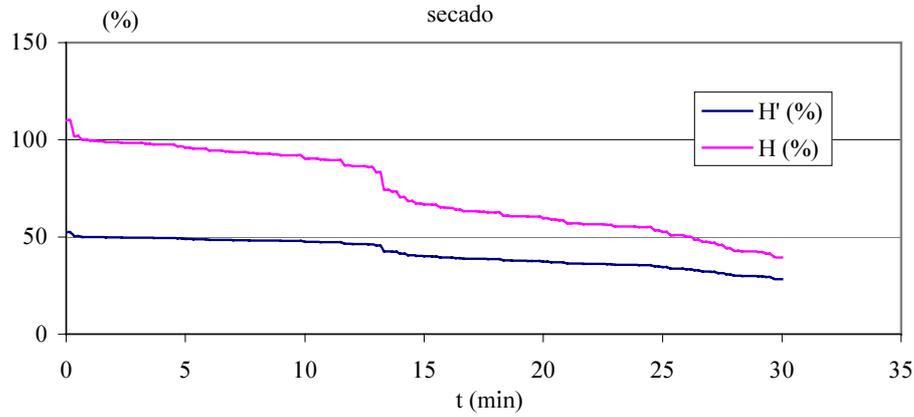
V3T3t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



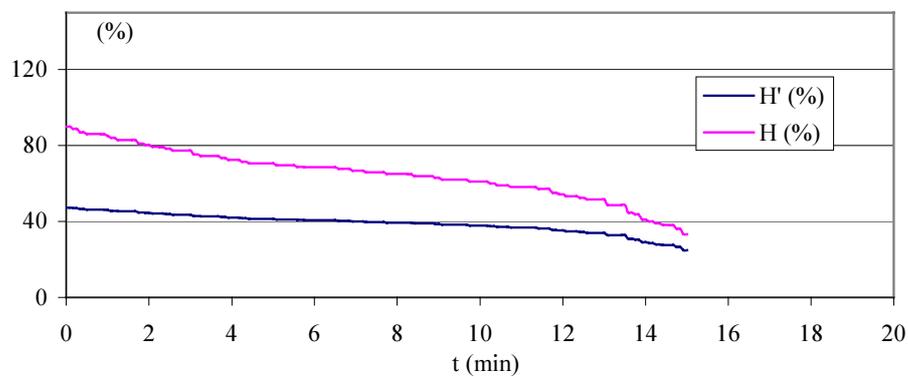
V3T3t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



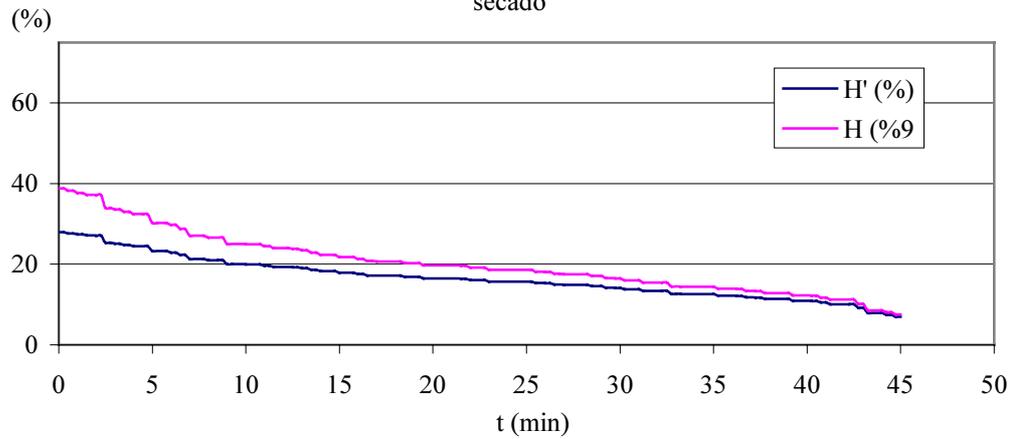
V3T3t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

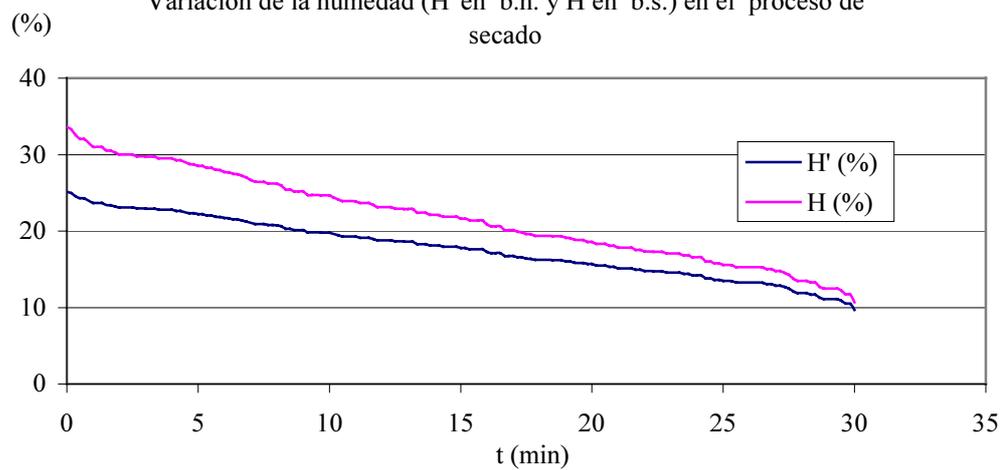


Cynara.

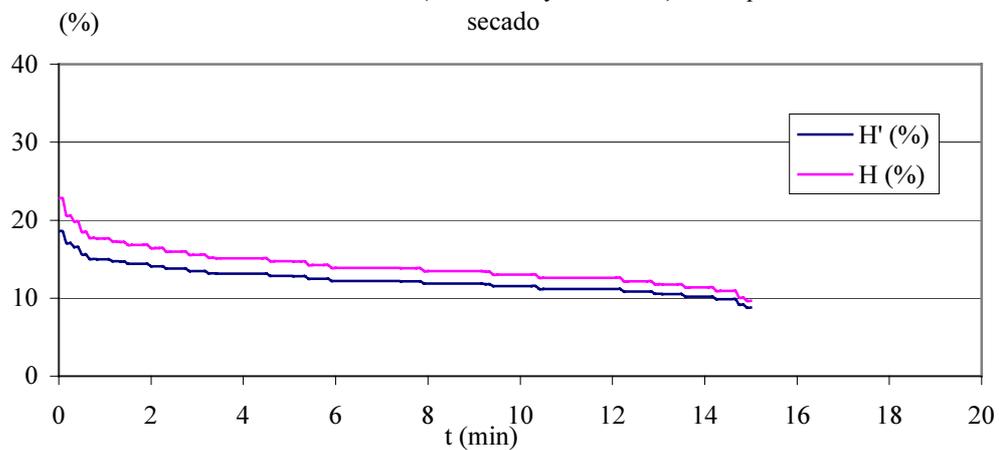
V1T1t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

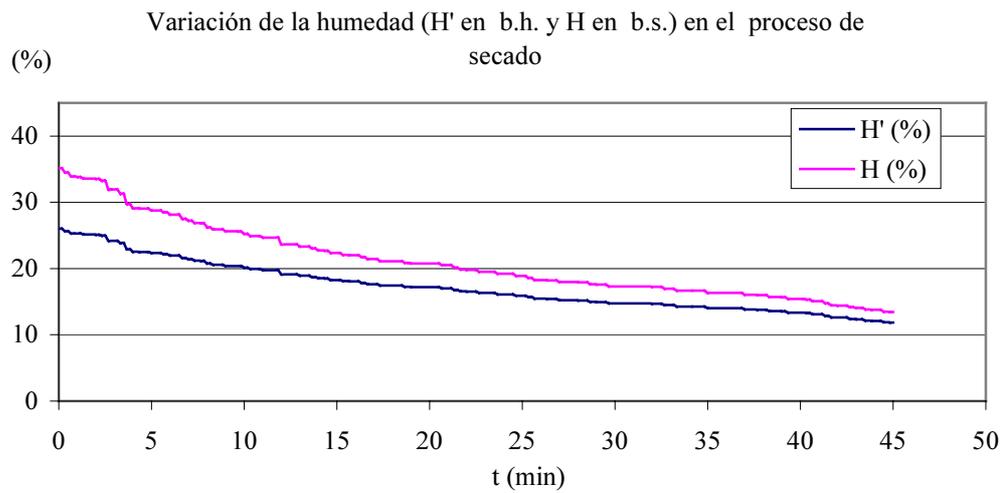
V1T1t2

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

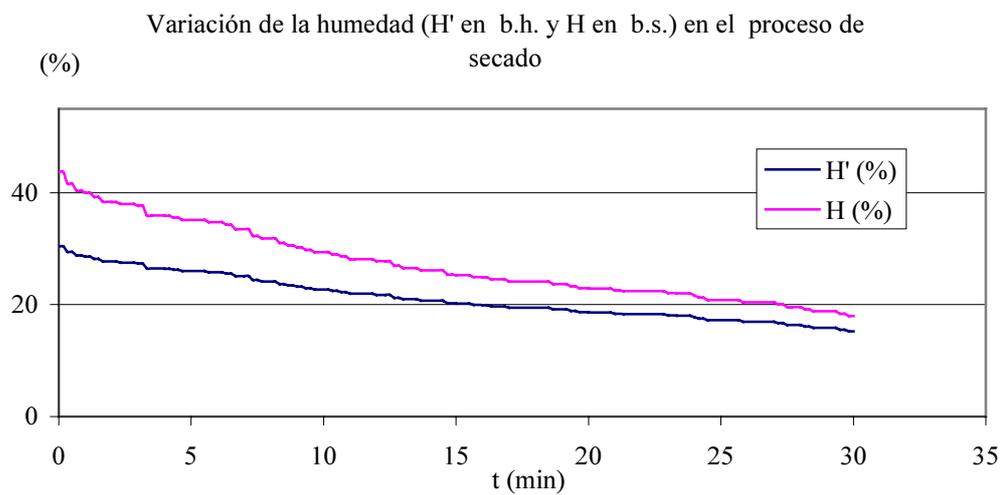
V1T1t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

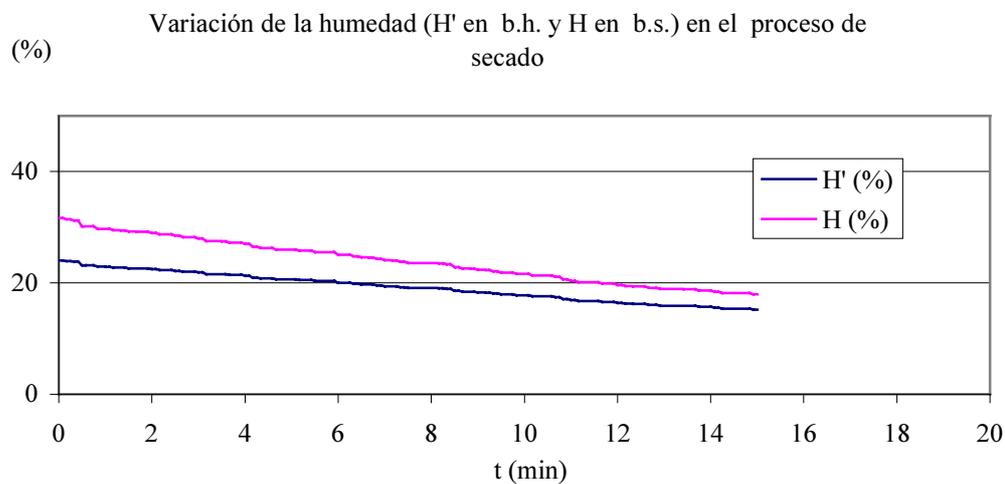
V1T2t1



V1T2t2

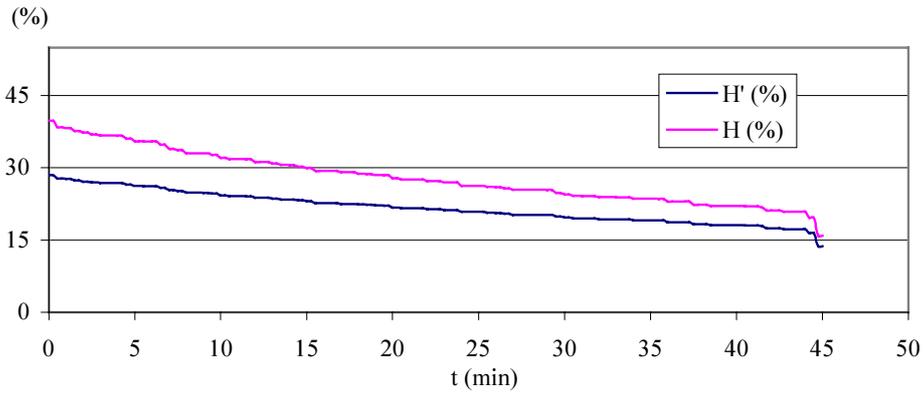


V1T2t3



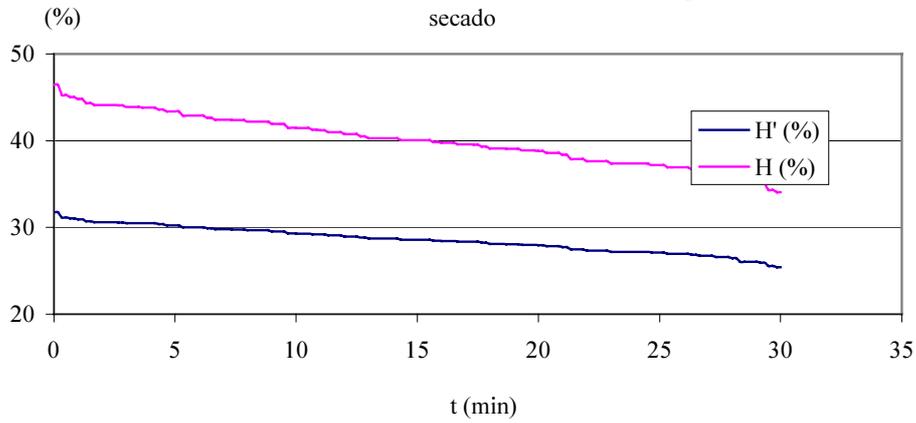
V1T3t1

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



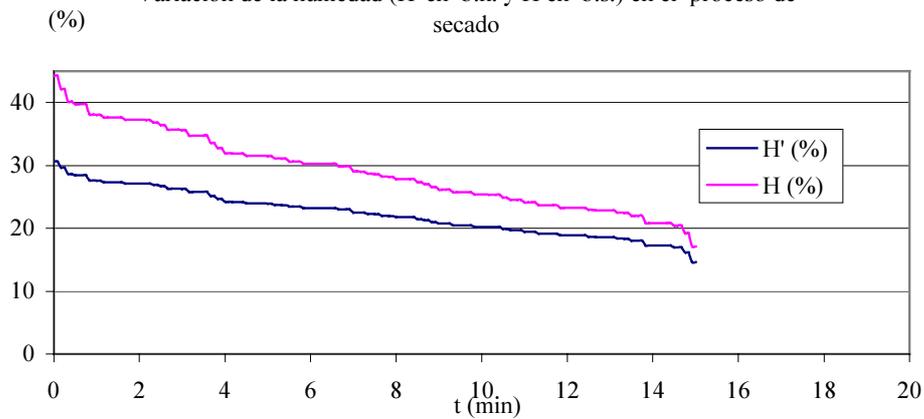
V1T3t2

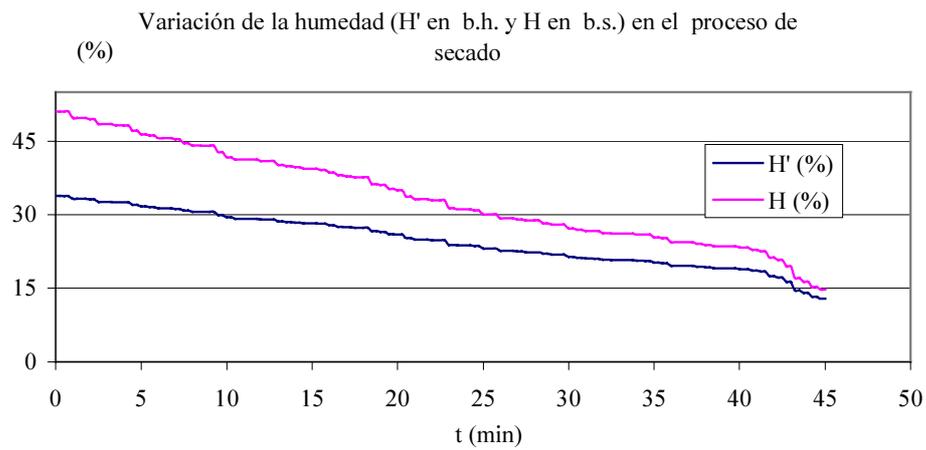
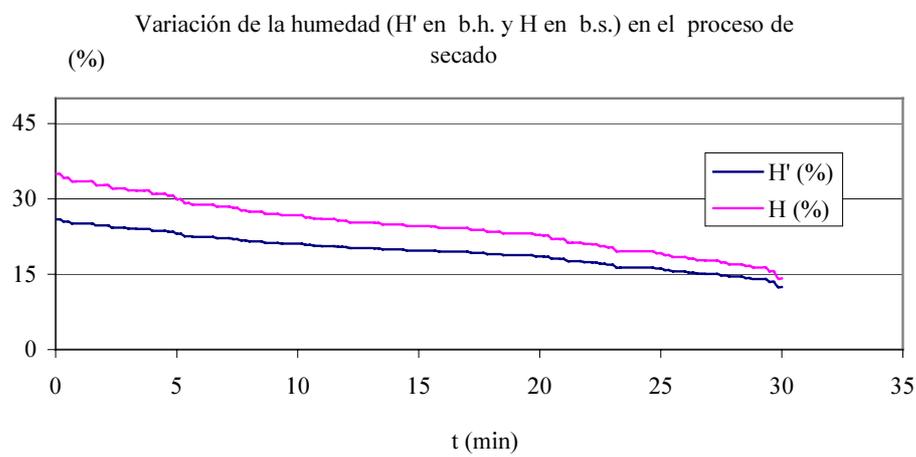
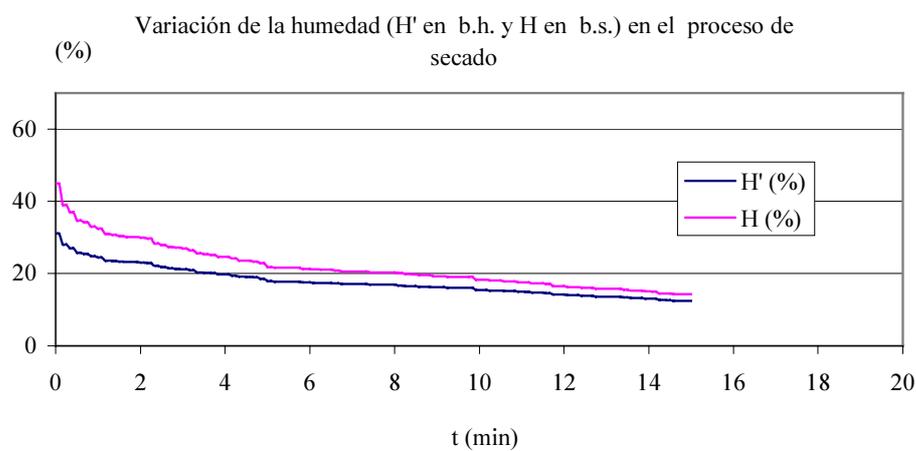
Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

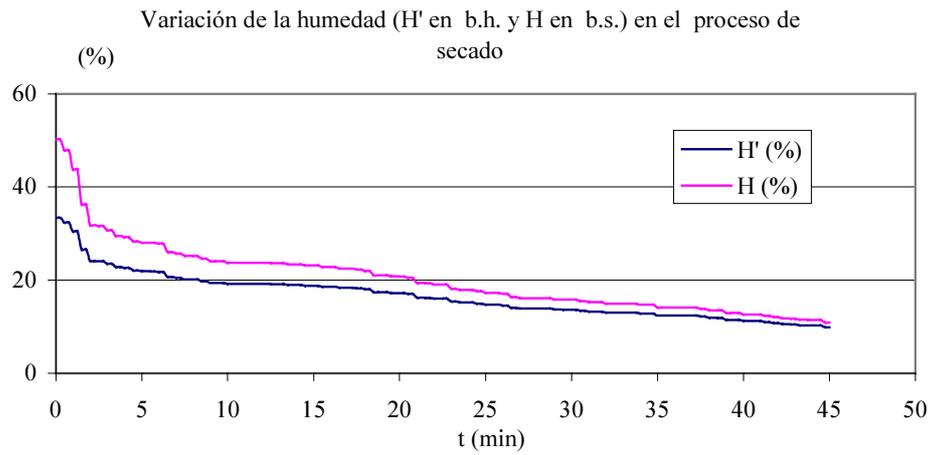
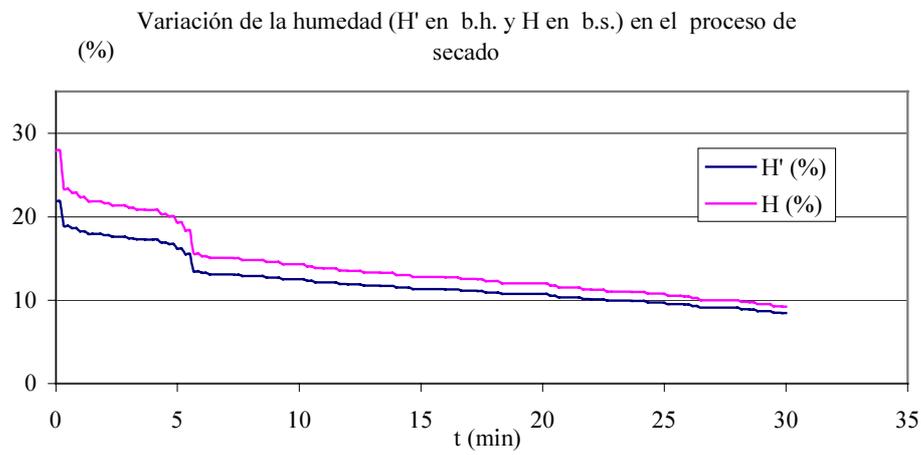
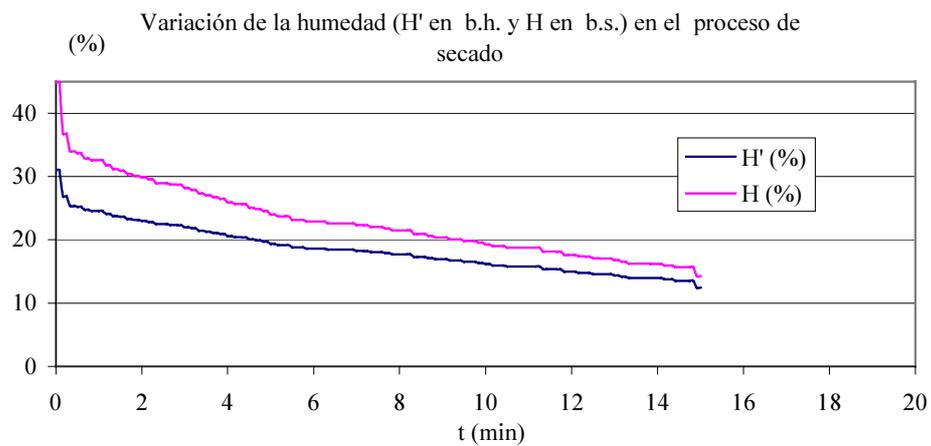


V1T3t3

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

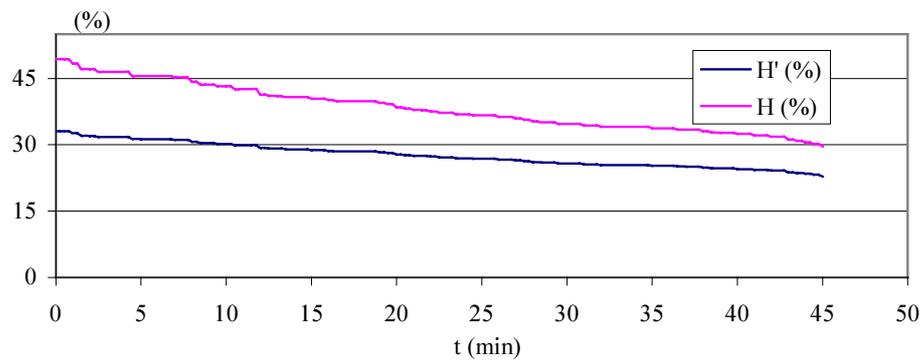


V2T1t1**V2T1t2****V2T1t3**

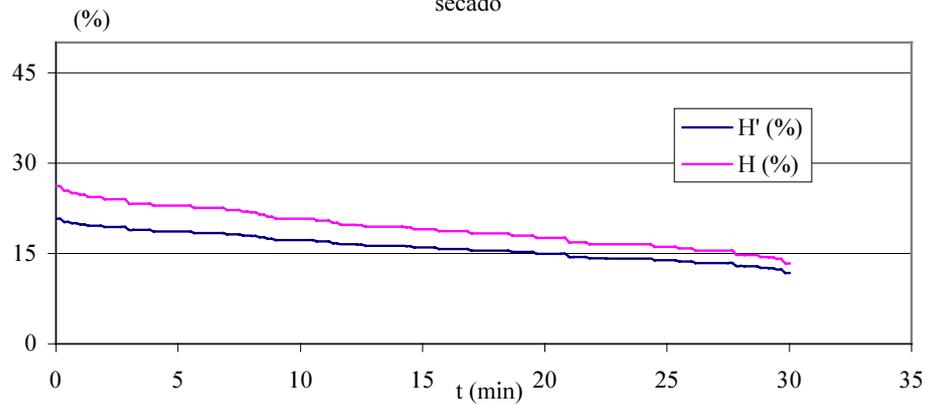
V2T2t1**V2T2t2****V2T2t3**

V2T3t1

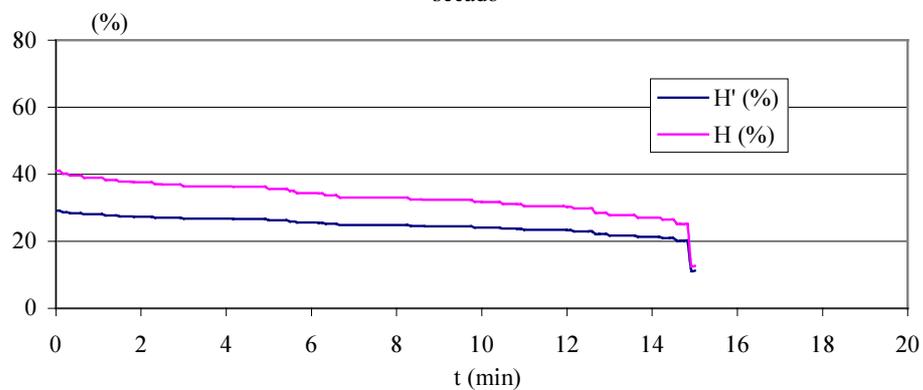
Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

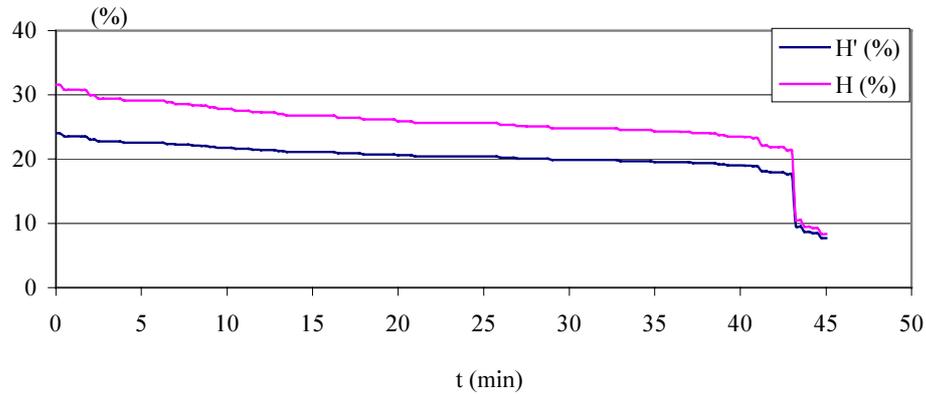
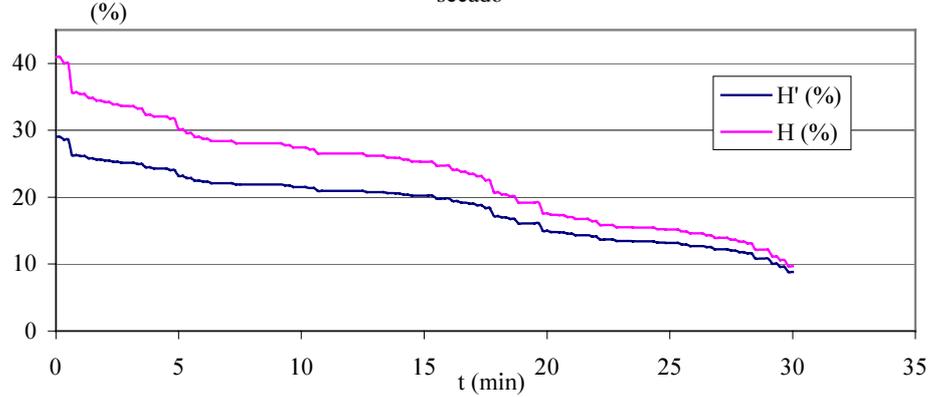
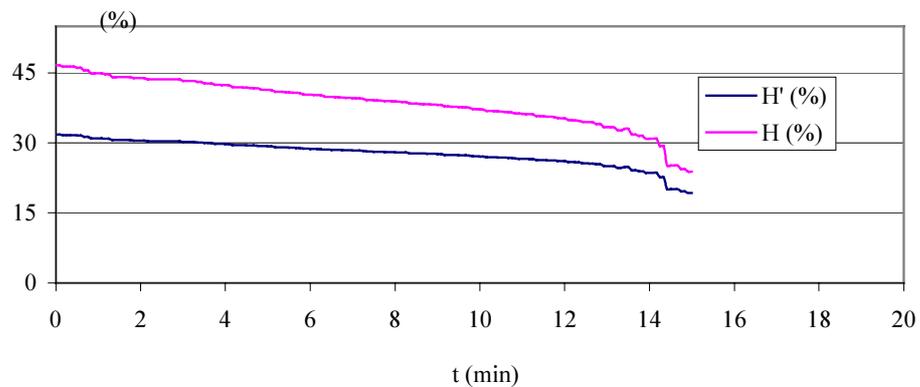
**V2T3t2**

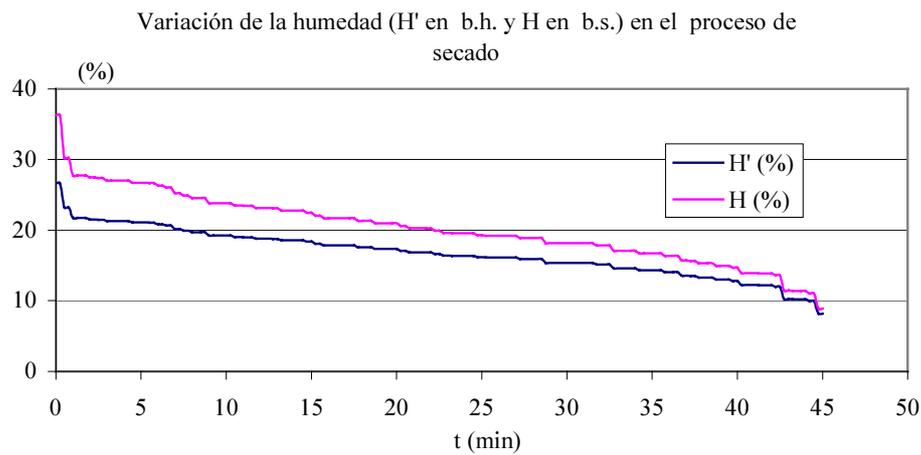
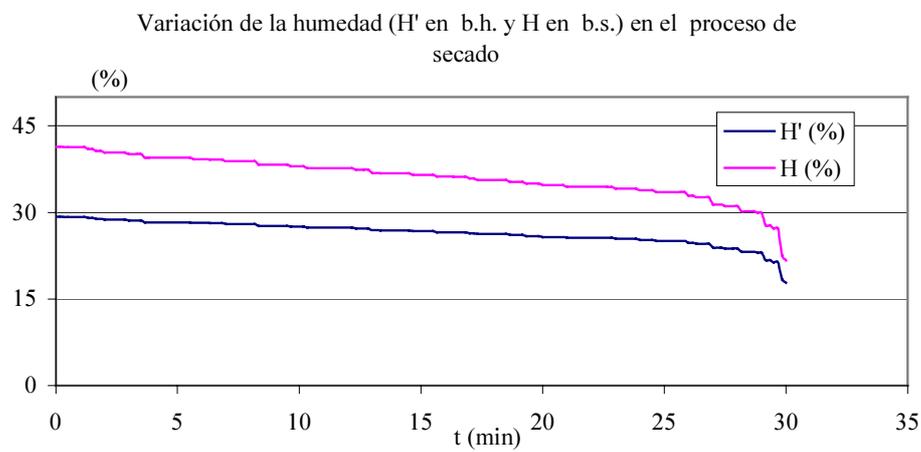
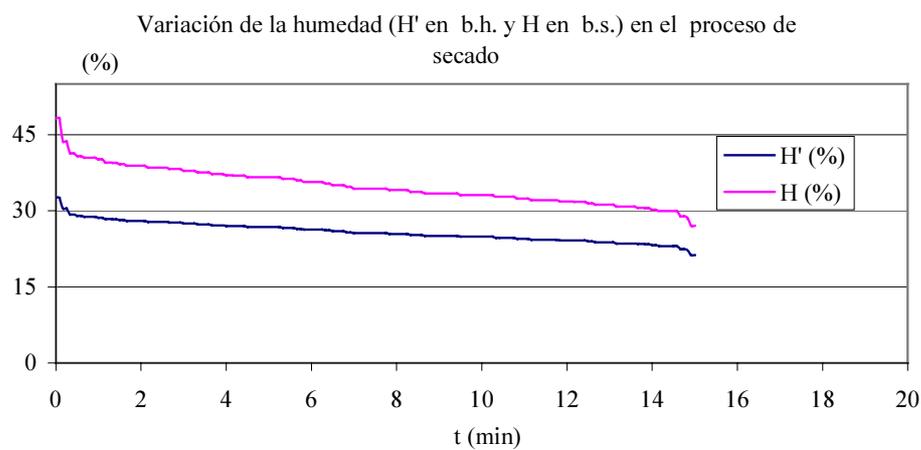
Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

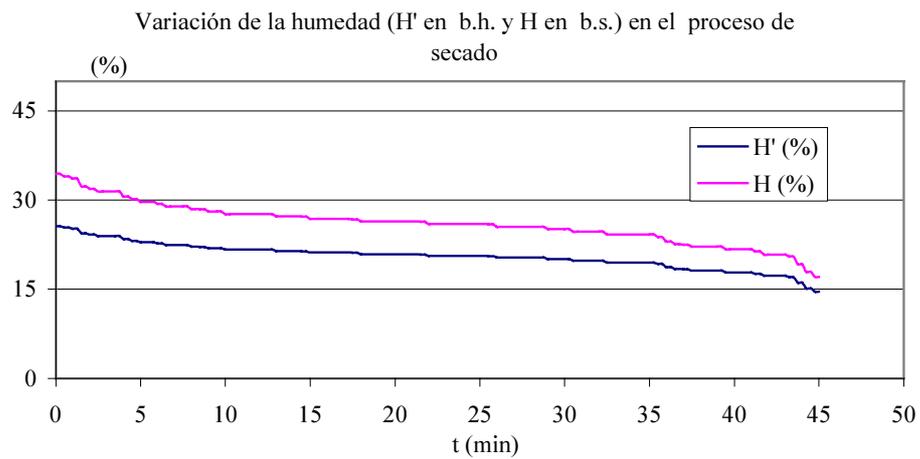
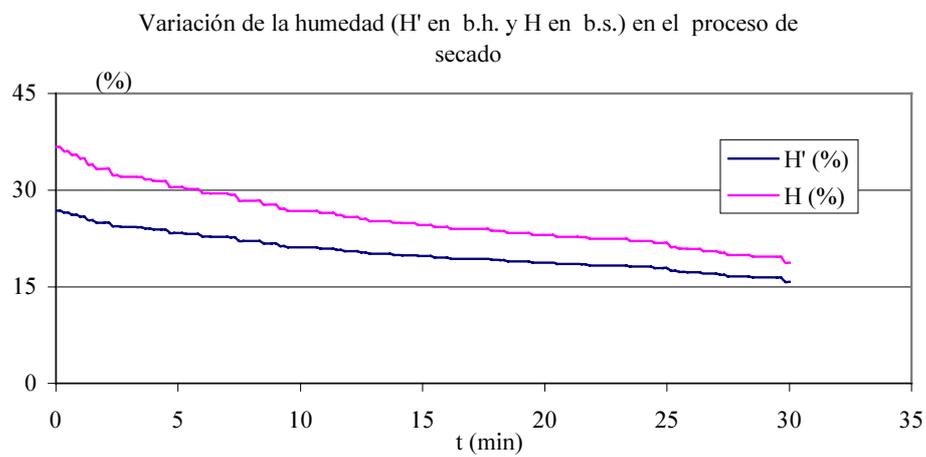
**V2T3t3**

Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado



V3T1t1Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado**V3T1t2**Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado**V3T1t3**Variación de la humedad (H' en b.h. y H en b.s.) en el proceso de secado

V3T2t1**V3T2t2****V3T2t3**

V3T3t1**V3T3t2****V3T3t3**