

DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.604388>

Ensayos experimentales del proceso de secado de placas de yeso bajo cubierta y con colector solar de placa plana

Msc. R. Spotorno; D.E.A. J. Pochettino; Ing. F. García; Dr. G. Figueredo;
Msc. R. Vázquez *

RESUMEN:

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos de los ensayos experimentales del proceso de secado de placas de yeso, mediante la utilización de un colector solar de placa plana y bajo cubierta. Se obtuvieron curvas representativas del proceso de secado utilizando ambos sistemas, para diferentes condiciones climáticas. Se logró determinar que para un periodo de secado simultaneo de 8,5 horas, la cantidad de agua extraída a la placa en el secado bajo cubierta fue de 640 g de agua, mientras que en el mismo periodo utilizando el colector solar fue de 2880 g de agua, representando un valor significativo respecto al secado bajo cubierta. Además se presentan dos esquemas de funcionamiento del secadero solar de placas de yeso a desarrollar.

Palabras claves: placas de yeso, ensayos de secado, bajo cubierta, colector solar

INTRODUCCIÓN

El yeso es uno de los materiales de construcción más antiguos, ya que ha sido conocido y utilizado desde la más remota antigüedad, principalmente en países de clima seco, que favorecen su conservación. Puede ser que su origen se pueda encontrar en el Oriente Medio, pues los sumerios y los asirios lo utilizaron en gran abundancia, ya que existen en aquella región extensos afloramientos de rocas yesíferas. (Yesos y Escayolas, 2013).

Con la palabra yeso se designan en castellano varios productos diferentes. Por una parte la piedra natural, compuesta químicamente por sulfato

* GITEA-Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas | Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Resistencia | French 414. 3500. Resistencia-Chaco. República Argentina
Tel: +54 3624 432928/Fax: +54 3624 432683/e-mail: rubenspotorno@yahoo.com

cálcico cristalizado conjuntamente con agua, en la proporción de dos moléculas de agua por cada molécula de sulfato cálcico, o sea sulfato cálcico dihidrato o doble hidrato, que también se denomina aljez o piedra de yeso. Por otra parte, el producto en polvo obtenido por calcinación y molienda de la piedra antes descrita, que está compuesto por varias fases anhidras o hemihidratadas del sistema sulfato cálcico-agua y que, al amasarse con agua, tiene la propiedad de poder endurecer mediante un proceso fisicoquímico, denominado fraguado.

El porcentaje de agua eliminado durante el proceso de deshidratación y las temperaturas utilizadas en el mismo determinarán las características del producto final, pudiéndose obtener diferentes variedades y propiedades. Para su fabricación industrial, se utilizan temperaturas entre 150°C y 170°C, conservándose el 25% del agua en el polvo de yeso comercial destinado al mercado de la construcción, mientras que para temperaturas de entre 400°C y 600°C se logra eliminar totalmente la humedad del producto (M. Diaga Seck, 2015), obteniéndose un producto totalmente deshidratado, denominado an-hidrato o simplemente sulfato de calcio.

El secado convectivo de placas de yeso es una fase importante del proceso de manufactura de las mismas. La

optimización del proceso de secado es requerida para mejorar la eficiencia del mismo, en términos de uso de energía y tiempo de producción, sin comprometer la calidad del producto, por ejemplo por fuertes y heterogéneos secados o gradientes excesivos de temperatura.

La fabricación de placas de yeso con poliestireno expandido en el nordeste argentino se ve afectada desde abril a septiembre debido a que se exceden demasiado los períodos de secado. El secado se realiza bajo cubierta circulando el aire exterior por convección natural a través de las placas de yeso. El objetivo del mismo es eliminar la humedad residual del yeso ya fraguado, para que adquiera las características buscadas. Por otra parte, el secado al ambiente es una técnica útil en los días secos soleados, sin embargo, tiene la desventaja que depende de las condiciones climáticas, requiere una superficie grande para el secado y de largos tiempos de exposición al sol, provocando consecuentemente degradación acelerada del material por los rayos ultravioleta (K.M Aguilar-Castro, 2008).

La gran demanda de este producto, de gran importancia en la construcción de viviendas y edificios, conlleva a la necesidad de reducir el tiempo de secado. Por lo mencionado anteriormente el proceso de secado de placas de yeso es una fase importante en la manufactura de las mismas. La optimización del proceso

de secado es requerida para mejorar la eficiencia del mismo, en términos de uso de energía y tiempo de producción.

Es importante mencionar que actualmente los grandes fabricantes de placas de yeso, el proceso de secado se realiza utilizando diferentes tecnologías de elevado costo que se tornarían inviable para nuestro caso particular a resolver, como es la empresa (GYPSOTONNE, 2010) la cual desarrolla secaderos a vapor.

El proyecto se presenta debido a que los propietarios de la planta fabril de placas de yeso con poliestireno expandido denominada Casa Duarte, localizada en la ciudad de Formosa, solicitaron al grupo de investigación, asistencia técnica con la finalidad de resolver el problema de secado mencionado oportunamente.

Cabe aclarar que debido a la distancia entre Resistencia y Formosa para trasladar las placas de yeso para realizar los diferentes ensayos y estudios pertinentes, se logró que la empresa YESOCHIL fabricante de placas de yeso, ubicada en el parque industrial de Fontana (Chaco), nos cediera las mismas para la realización de los ensayos.

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos de los ensayos del proceso de secado de placas de yeso realizados bajo cubierta y con un colector

solar de placa plana.

Además se presenta dos esquemas del secadero solar de placas de yeso a desarrollar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos de secado bajo cubierta y utilizando un colector solar de placa plana, se realizaron para placas de yeso que poseen las siguientes características:

Dimensiones: 0.75 m de largo, 0.50 m de ancho y 0.03 m de espesor.

Composición: placa de poliestireno expandido de 0.019 m de espesor, 4400 g de yeso y 3,5 litros de agua necesarios para el fraguado de la misma.

El sistema de adquisición de datos empleado es un dispositivo tipo datalogger, que registra mediante sensores, parámetros termodinámicos como: temperatura y humedad relativa (termohigrómetro) y caudalímetro, necesarios para el tratamiento de datos de los ensayos experimentales realizados. Los parámetros de temperatura ambiente y radiación solar, se registraron mediante una estación meteorológica marca Vantage Pro II, instalada in situ.

Mediante la instalación de un colector solar de placa plana para calentamiento de aire que posee el G.I.T.E.A, se realizaron ensayos experimentales de

secado de las placas de yeso. Cabe resaltar que los ensayos de secado se realizaron para diferentes velocidades de aire en el circuito colector solar-cámara de secado. Para realizar la regulación de velocidad del aire se utilizó un regulador electrónico que actuaba sobre un ventilador centrífugo.

La **figura 1** muestra el regulador electrónico de velocidad de aire utilizado en los ensayos de secado en el colector solar de placa plana.



Figura 1 : Regulador electrónico de velocidad

En la **figura 2** se observa el colector solar de placa plana empleado en los ensayos experimentales, y en la **figura 3** la cámara de secado.

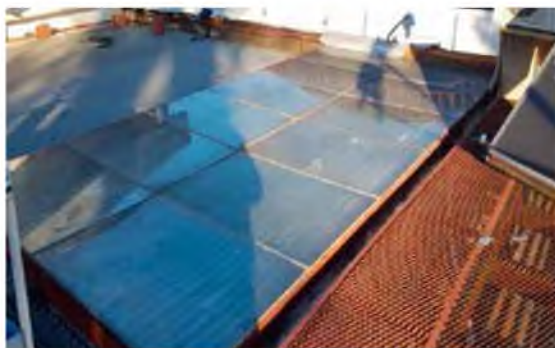


Figura 2: Colector solar de placa plana



Figura 3: Cámara de secado

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se presentan resultados y curvas representativas de algunos ensayos:

I-Ensayo 23-08-2019 con colector solar: velocidad del aire 3,5 m/s

El proceso de secado se inició a las 9:30 hs con un peso de la placa de yeso de 7650 g, finalizando el secado a las 18:00 hs con un peso de 5010 g. La pérdida de peso fue de 2640 g, que representa un 34 % de la masa inicial de la placa. En la figura 4 se aprecia el proceso de secado de la placa de yeso. En la misma se observa que en el periodo comprendido entre las 12:00 hs y 14:00 hs se extrae la mayor cantidad de agua de la placa de yeso, lo que se condice con los valores de radiación y temperatura de entrada a la cámara de secado como se observa en la figura 5. Cabe resaltar que el proceso de secado de la placa de yeso no ha sido completo, faltando aproximadamente

300 g de agua extraer de la misma, de acuerdo a ensayos bajo cubierta en lo que se extrajo 3000 g de agua de la placa como el ensayo 04-09-2019

que se presenta posteriormente. La velocidad del aire que circula por el colector solar-cámara de secado fue de 3,5 m/s aproximadamente.

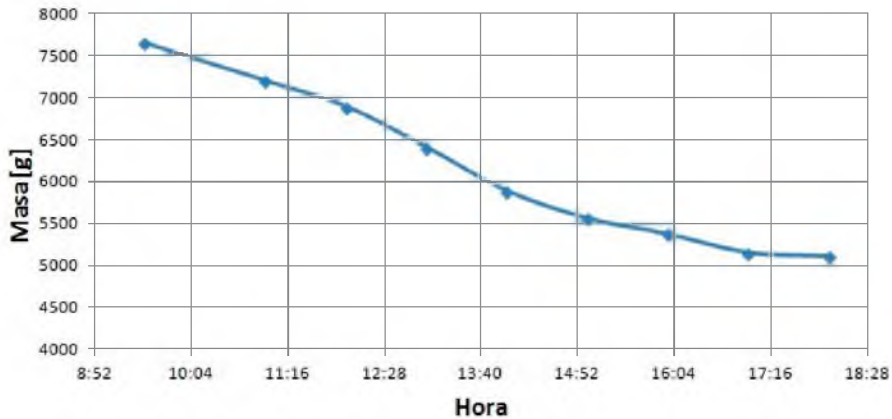


Figura 4: Pérdida de peso de la placa de yeso

La figura 5 muestra los parámetros registrados por el datalogger durante los ensayos: HRent: humedad relativa del aire a la entrada de la cámara de secado, HRsal: humedad relativa del aire a la salida de la cámara de secado,

Tent: temperatura del aire a la entrada de la cámara de secado, Tsal: temperatura del aire a la salida de la cámara de secado, y los registrados por la estación meteorológica: Tamb: temperatura ambiente, Rad*10: radiación solar.

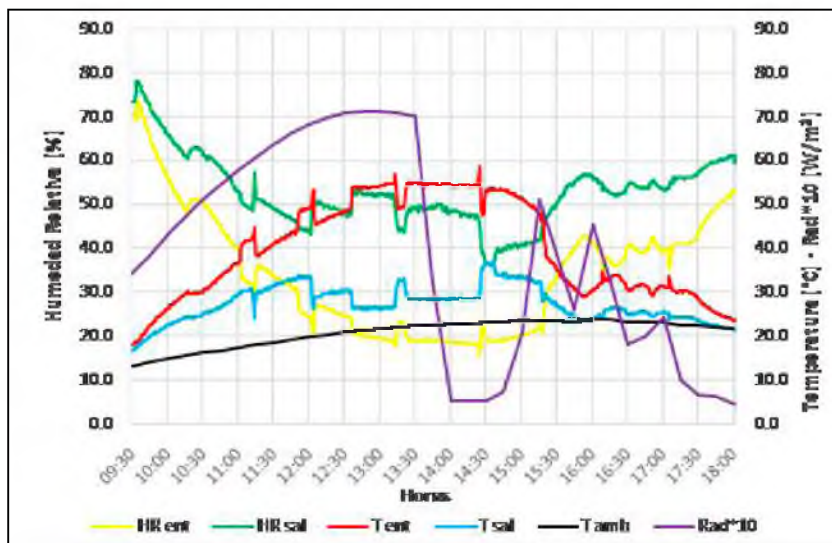


Figura 5: Parámetros registrados durante el ensayo de secado

En la gráfica 5 se observa que la máxima temperatura del aire a la entrada de la cámara de secado es de 55°C , mientras que la temperatura del ambiente es de 22°C , es decir una diferencia de temperatura de 33°C , aportada por el efecto invernadero generado en el colector solar.

Además se aprecia en la curva de radiación solar una disminución pronunciada de aproximadamente 40 minutos, debido a la instalación de un tanque de almacenamiento de agua que produce sombra en la estación meteorológica que registra los parámetros ambientales. También se observa una disminución en los parámetros de temperaturas del aire que circula por el colector solar-cámara de secado, debido al fenómeno de sombra

sobre el colector. Dicho fenómeno afecta el proceso de secado de la placa de yeso. En la figura 6 se aprecia el tanque de almacenamiento de agua que provoca la sombra en la estación meteorológica y en el colector solar de placa plana, y en la figura 7 se observa la estación meteorológica Vantage Pro II, destinada a registrar los parámetros meteorológicos. Además cabe destacar que debido a la ubicación que posee el colector solar (lindante a edificios), recibe radiación solar desde las 9:00 hs hasta las 18:00 hs, es decir durante aproximadamente 2 horas el colector solar no recibe radiación, representando una demora en el proceso de secado de las placas de yeso, que en el caso de la construcción del colector solar y cámara de secado para una industria, el mencionado factor se tendría en cuenta.



Figura 6: Tanque de almacenamiento de agua



Figura 7: Estación meteorológica Vantage Pro II

II-Ensayo 28-08-2019 con colector solar: velocidad del aire 2.5 m/s

En el presente ensayo, el peso inicial de la placa de yeso fue de 7665 g a las 9:30 hs, finalizando el proceso de secado con un peso de 4845 g a las 19: 00 hs. Por lo tanto la pérdida de agua es de

2820 g, es decir un 37 % de la masa inicial de la placa. La **figura 8** muestra la gráfica del proceso de secado de la placa de yeso en el periodo de 9,5 hs. La velocidad del aire durante el ensayo fue de 2.5 m/s aproximadamente, la cual fue establecida por el regulador electrónico de velocidad.

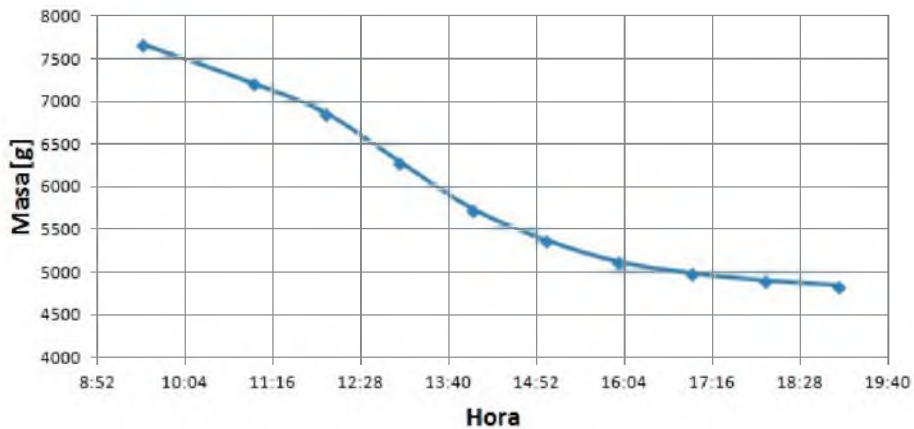


Figura 8: Pérdida de peso de la placa de yeso

En la **figura 9** se observa el comportamiento de los parámetros registrados por el datalogger y la estación meteorológica. Se aprecia que la temperatura ambiente máxima alcanzada

es de 32°C, mientras que la temperatura del aire antes de ingresar a la cámara de secado es del orden de los 53°C, es decir una diferencia de 21°C de temperatura aportada por el colector solar.

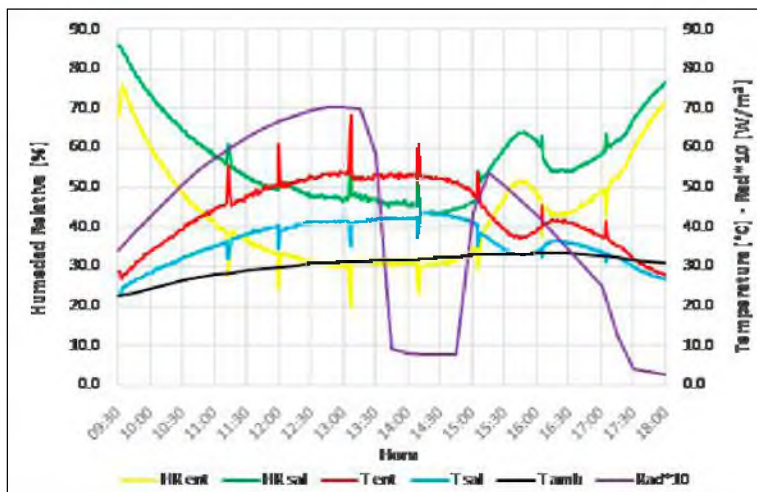


Figura 9: Parámetros registrados durante el ensayo de secado

Comparación de ensayos de secado: bajo cubierta y con colector solar de placa plana

Con la finalidad de realizar la comparación del proceso de secado de placas de yeso con el colector solar de placa plana y bajo cubierta, se realizaron ambos ensayos en forma simultánea.

Se iniciaron ambos ensayos el día 04-09-2019 a las 9:30 hs, con las siguientes consideraciones:

III-Ensayo 04-09-2019 : Bajo Cubierta:

Con el propósito de realizar la medición del peso de la placa de yeso durante el proceso de secado en forma continua, los pesos se registraron a través del puerto USB de la balanza conectado a una notebook, utilizando un programa realizado en Python versión 3.6.8 almacenando los datos para su posterior tratamiento. La implementación de esta forma de pesado nos permitió conocer detalladamente el periodo total del proceso de secado de la placa de yeso. Cabe resaltar que los primeros ensayos de secado el proceso de pesado se realizaba en forma manual cada hora, durante el periodo comprendido entre las 8:00 hs y 20:00 hs del día. Por lo tanto en el transcurso de la noche no se realizaba el pesado de las placas de yeso.

Durante el proceso de pesado se utilizó una balanza digital marca Kretz con una precisión de 5 gramos. La **figura 10** muestra la fotografía de la balanza y la notebook conectados entre sí.



Figura 10: Fotografía del sistema de pesado de la placa de yeso bajo cubierta

En el presente ensayo el proceso de secado se inicia con un peso de la placa de yeso de 7875 g, finalizando el secado con un valor de 4800 g, es decir 3075 g de pérdida de agua lo que representa un 39 % de la masa inicial de la placa.

En la **figura 11** se observa que la pérdida de peso en el transcurso de las primeras nueve horas de secado es de 640 g. Además en la misma figura se aprecia que el proceso de secado posee una duración aproximadamente de 84 hs, que representa un periodo de secado prolongado, comparando con el proceso de secado utilizando el colector solar de placa plana. La figura 11 muestra los parámetros: masa, temperatura ambiente y radiación solar, durante la realización del ensayo.

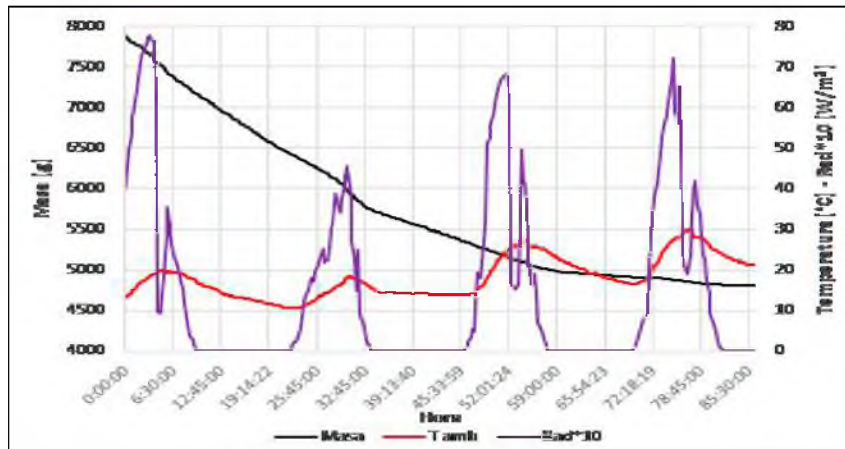


Figura 11: Pérdida de peso de la placa de yeso

**IV-Ensayo 04-09-2019:
Colector Solar de Placa Plana**

El presente ensayo se inicia con un día completamente despejado, mientras que en la *figura 12* se observa la disminución de la radiación solar a partir de las 14:30 hs, debido a que se nublo totalmente y que se manifiesta

en el descenso de los parámetros de temperaturas en el circuito colector-cámara de secado. Lo mencionado impidió que el secado de la placa de yeso sea total.

La *figura 12* muestra el comportamiento de los parámetros registrados durante el ensayo.

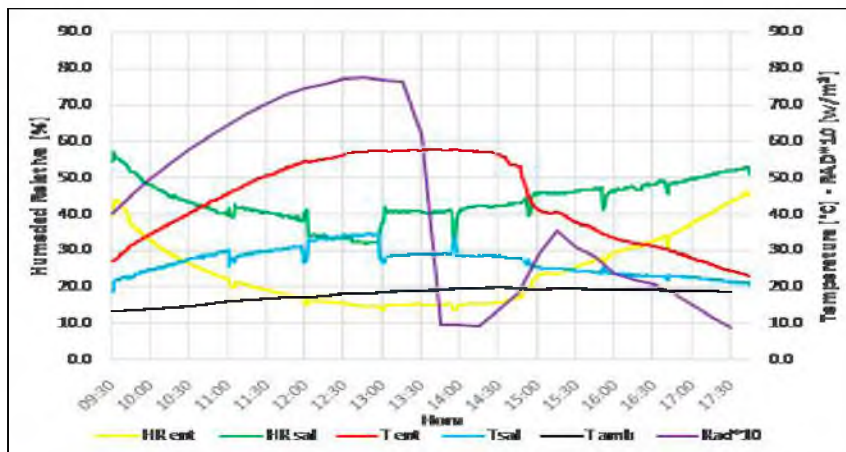


Figura 12: Parámetros registrados durante el ensayo de secado

La **figura 13** muestra el proceso de secado de la placa de yeso. En el presente ensayo la placa tiene un peso inicial de 8405 g a las 9:30 hs y finaliza luego de 8,30 hs de secado con un peso de 5525 g, es decir 2880 g de pérdida de agua, que representa un 34 % de la masa inicial de la placa. Cabe destacar que el secado no se realizó completamente,

debido a lo señalado oportunamente.

Comparando el periodo de secado comprendido para las primeras nueve horas para ambos sistemas, se observa una diferencia importante de cantidad de agua extraída a las placas de yeso, siendo significativo el secado con el colector solar de placa plana.

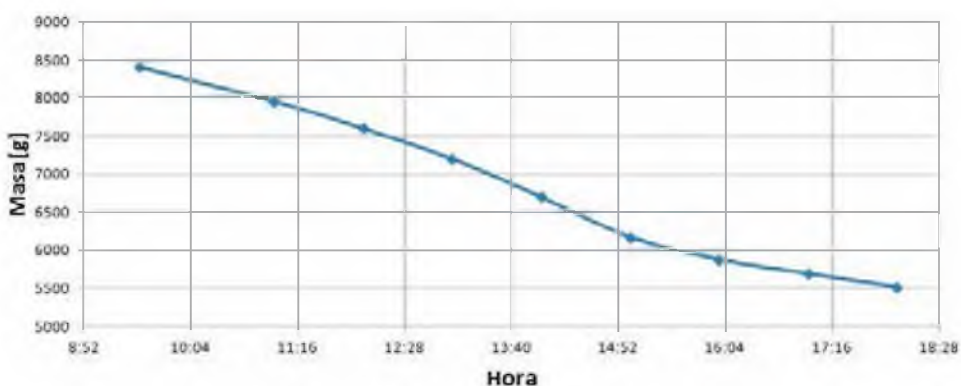


Figura 13: Pérdida de peso de la placa de yeso

V-Ensayo 30-09-2019: con colector solar: velocidad del aire 3.5 m/s

Con la finalidad de conocer la duración del proceso de secado de las placas de yeso utilizando el colector solar de placa plana, para condiciones de radiación elevadas respecto a los ensayos realizados en días de baja radiación, se presenta el siguiente ensayo.

La **figura 14** muestra los parámetros registrados durante el ensayo. En la misma se observa, que los niveles de radiación y temperatura ambiente

registrados son relativamente mayores a los presentados en los ensayos anteriores. Esto se manifiesta en los elevados valores de temperatura del aire al ingreso de la cámara de secado.

La **figura 15** muestra el proceso de secado de la placa de yeso. En la misma se observa que el periodo de secado disminuyó respecto a los ensayos presentados anteriormente. El proceso de secado tuvo una duración de 7 horas, iniciando el mismo con un peso de la placa de 7595 g a las 9:00 hs y finalizando con un peso de 4675 g a las 16:00 hs. La cantidad de agua

extraída de la placa fue de 2920 g, representando el 38 % de la masa inicial de la misma.

Cabe resaltar que a pesar de la elevada temperatura del aire que ingresa a la cámara de secado, la placa de yeso no sufrió deformación y degradación de

color alguna. Por lo tanto además de solucionar el problema de secado para el período comprendido en los meses de baja radiación solar, se logra realizar el proceso de secado para los días de elevada radiación solar sin alteraciones en la placa, consiguiendo solucionar la demanda de placas de yeso cuando se requiera.

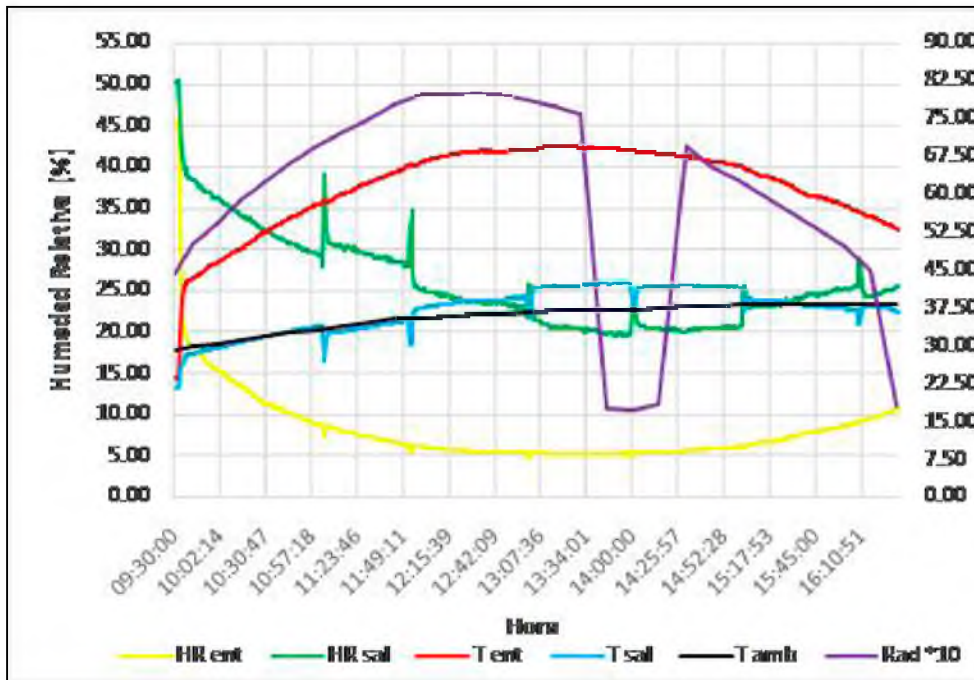


Figura 14: Parámetros registrados durante el ensayo de secado

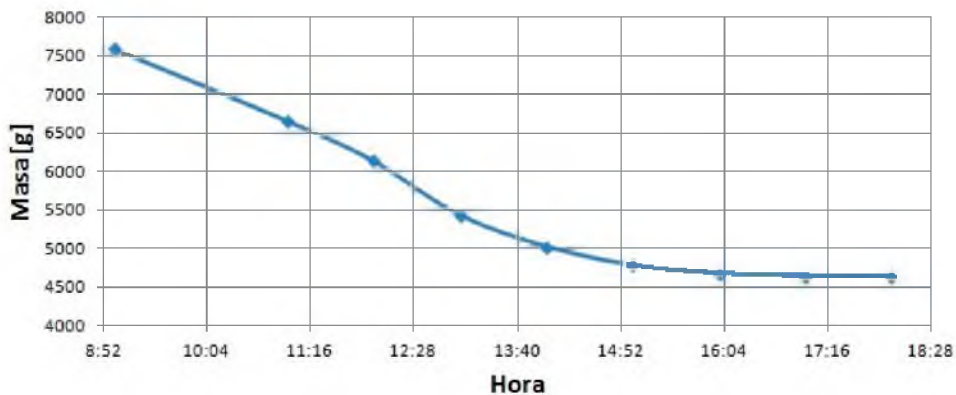


Figura 15 : Pérdida de peso de la placa de yeso

Nota: Las perturbaciones producidas en las curvas de temperaturas y humedades relativas del aire que circula en el circuito colector solar-cámara de secado, se deben al periodo en el cual se abre la compuerta de la cámara de secado, con el fin de retirar la placa de yeso para realizar el proceso de pesado.

Desarrollo del secadero solar de placas de yeso

La figura 17 muestra dos esquemas del secadero de placas de yeso a desarrollar. En el mismo se aprecia el sentido de circulación del aire

impulsado por el ventilador entre el colector solar y las placas de yeso. La cámara de secado posee dos puertas que permiten con facilidad la carga de las placas de yeso y además la apertura de las mismas permitiría la circulación del aire por convección natural, para los días nublados (reducida radiación solar) y de lluvias, logrando la continuidad del proceso de secado. El secadero posee además deflectores que permiten direccionar el aire a través de las placas de yeso. Se observa además las ventilas por donde se expulsa parte del aire viciado de humedad, y la que ingresa aire de renovación del medio ambiente.

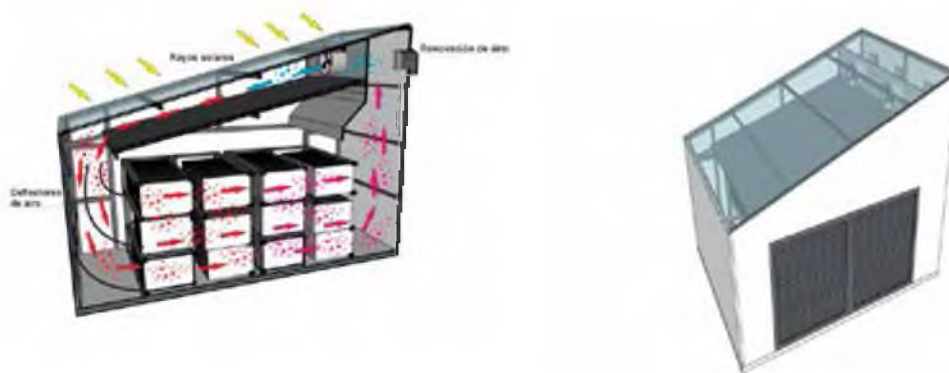


Figura 17: Esquemas del secadero de placas de yeso

CONCLUSIONES

Se realizaron ensayos de secado de placas de yeso bajo cubierta y mediante un colector solar de placa plana para diferentes condiciones climáticas. Se logró determinar que la cantidad de agua extraída de las placas durante los

ensayos, es del orden de los 3000 g aproximadamente.

Se realizó la comparación del proceso de secado bajo cubierta y con el colector solar de placa plana simultáneamente, logrando determinar que para un periodo de secado de 8,5

horas, la cantidad de agua extraída a la placa en el secado bajo cubierta fue de 640 g de agua, mientras que en el mismo periodo utilizando el colector solar fue de 2880 g de agua, representando un valor significativo respecto al secado bajo cubierta. Además el proceso de secado bajo cubierta tuvo una duración de 84 horas, mientras que utilizando el colector solar la duración fue de 8,5 horas.

Se realizaron ensayos de secado con el colector solar para diferentes velocidades del aire que circula en el circuito colector solar-cámara de secado. Se logró determinar que para el rango de velocidades utilizadas en los ensayos, no se registraron diferencias importantes de la cantidad de agua extraída en las placas.

Efectuados una serie de ensayos de secado bajo cubierta y utilizando un colector solar de placa plana, se comprobó que el proceso de secado es de menor duración utilizando el colector solar, aunque la radiación sea relativamente baja o existan periodos nublados pronunciados.

Para los días de elevada radiación solar utilizando el colector solar, el proceso de secado de las placas de yeso disminuye significativamente respecto al secado bajo cubierta, sin deformación y degradación de la coloración de la placa, ante las elevadas temperaturas del aire en la cámara de secado.

El proceso de secado de las placas de yeso utilizando el colector solar de placa plana es dependiente de la radiación solar, por tal motivo para dar continuidad al proceso de secado los días nublados y de lluvias, a la cámara de secado se le realizaran dos puertas que permitan la circulación del aire atmosférico por convección natural.

Se plantea dos esquemas del secadero solar de placas de yeso para su posterior desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación del Ing. Sergio Duarte y de los alumnos becarios Muller N, Méndez J y Di Gresia I.

REFERENCIAS

- » Yesos y Escayolas. [http:// studylib.es/tema6.yesos.escayolas](http://studylib.es/tema6.yesos.escayolas). (2013)
- » Diaga Seck M. Tesis Comprensión de los Mecanismos de Secado de Materiales de Construcción: Molde de Yeso. [http:// pastel.archives-ouvertes.fr. Pag13-17-49](http://pastel.archives-ouvertes.fr/Pag13-17-49). (2015)
- » Aguilar Castro K. Rediseño de un Secador de Moldes de Yeso. (2008)
- » Gypsotonne. [http:// www.gypsotonne.fe/index.php](http://www.gypsotonne.fe/index.php). (2010).

ABSTRACT

In this work, the results obtained from the experimental tests of the

drying process of plasterboard are exposed, through the use of a flat plate solar collector and under cover. Representative curves of the drying process were obtained using both systems, for different climatic conditions. It was possible to determine that for a simultaneous drying period of 8.5 hours, the amount of water extracted to the plate in the dried under

cover was 640 g of water, while in the same period using the solar collector it was 2880 g of water, representing a significant value with respect to drying under cover. In addition, two operating schemes of the dry plasterboard solar dryer to be developed are presented.

Keywords: plasterboard, drying tests, under cover, solar collector