



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA EL CAPSICUM ANNUM (AJÍ) CON COLECTOR-ALMACENADOR EN LECHO DE ROCAS CON UNA CAPACIDAD DE 25 kg

**DE LA TORRE MORENO JOSÉ LUIS
PORTILLA HERRERA MAYRA ALEJANDRA**

**DIRECTOR: INGENIERO OSWALDO MARIÑO
CODIRECTOR: INGENIERO XAVIER RODRÍGUEZ**

SANGOLQUÍ 2015



GENERALIDADES



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ANTECEDENTES



Agricultura responsable

Control de plagas

Insecticida y fungicida orgánico

Secado del ají

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Problemas en la salud

Aumento de los costos de producción de productos agrícolas

Disminución de los cultivos tradicionales



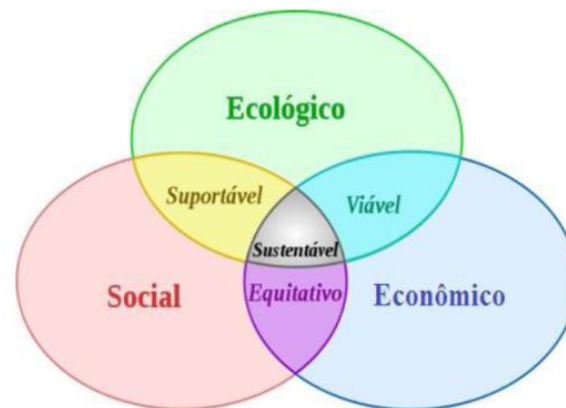
ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

JUSTIFICACIÓN

Contribuye a la preservación del medio ambiente.

Proporciona una herramienta que fomenta la seguridad y soberanía alimentaria.

Incentiva al desarrollo de cultivos agrícolas familiares.



OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de secador solar para el secado del capsicum annum (ají) con colector-almacenador en lecho de rocas con una capacidad de 25 kg, para la Comunidad el Cabuyal.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1. Caracterizar al ají
- 2. Diseñar la cámara de secado y establecer el número de bandejas
- 3. Plantear un modelo matemático para el colector-almacenador
- 4. Simular el modelo matemático



OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Construir el sistema de secado

Evaluar y analizar el comportamiento térmico del sistema

Realizar el análisis de costo



ALCANCE

Diseño del sistema de secado



Simulación del colector-almacenador



Elaboración de planos de construcción.



Construcción del prototipo



Pruebas y análisis de resultados



MARCO TEORICO



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CAPSICUM ANNUM

Capsicum = Semillas contenidas en una capsula

Planta herbácea considerada como un vegetal

Cultivado durante todo el año

Capsaicina=Pungencia o ardor



Es percibida por mamíferos e insectos, como: pulgones, ácaros, araña roja, mosca blanca, tripidos, hormigas



CAPSICUM ANNUM

- Es rico en vitamina A , C y ácido ascórbico el cual es un excelente antioxidante.

VALOR NUTRICIONAL

Hierro	0.75 mg	Vitamina B1	7 %
Cobre	0.10 mg	Vitamina B2	3 %
Zinc	0.18 mg	Vitamina B3	5 %
Magnesio	10 mg	Vitamina B6	0.16 %
Sodio	2 mg	Vitamina C	200 %
Potasio	190 mg	Vitamina D	3 %
Calcio	11 mg	Vitamina E	4 %
Fosforo	30 mg	Vitamina K	10 %
Tiamina	0.09 mg	Agua	94 %
Riboflavina	0.05 mg	Energía	20 Kcal
Niacina	0.55 mg	Proteínas	0.9 %
Acido ascórbico	80.4 mg	Grasa	0.2 %
Retinol	27 µg	Fibra	1.7 %
DFE	3 %	Azúcares	2.40 g
Vitamina A	3 %	Carbohidratos	4.46 g

Fuente: (Nogueira, 2013)

ESCALA DE SCOVILLE

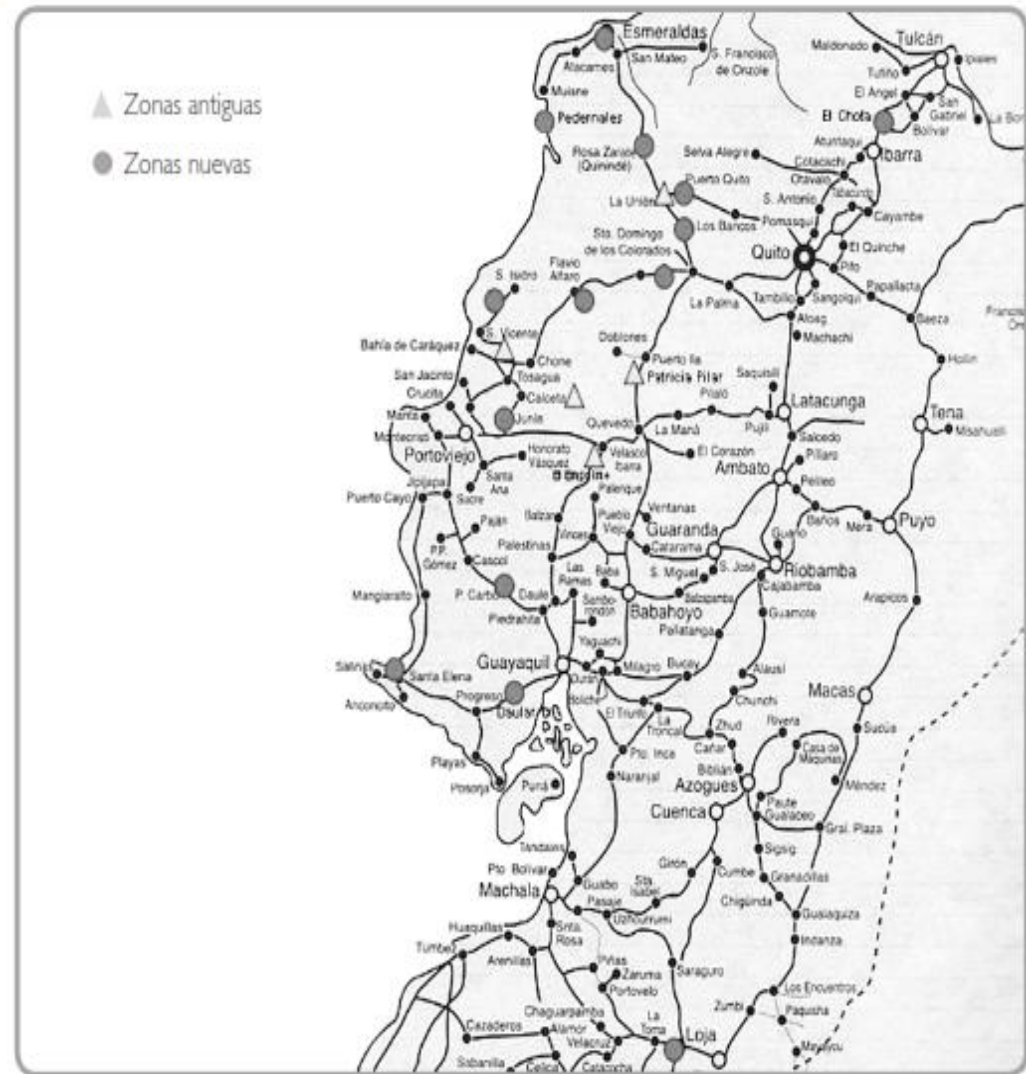
Tipo	Unidad Scoville
Capsicina pura	16000000
Habanero	150000 - 325000
Piquen	50000-100000
Tabasco	3000-60000
Capsicum baccatum	30000-50000
Serrano	10000-20000
Jalapeño	2500-5000
Pimiento	0-100

Fuente: (Puertos & Gastelu, 2011)



PRODUCCIÓN DE AJÍ EN EL ECUADOR

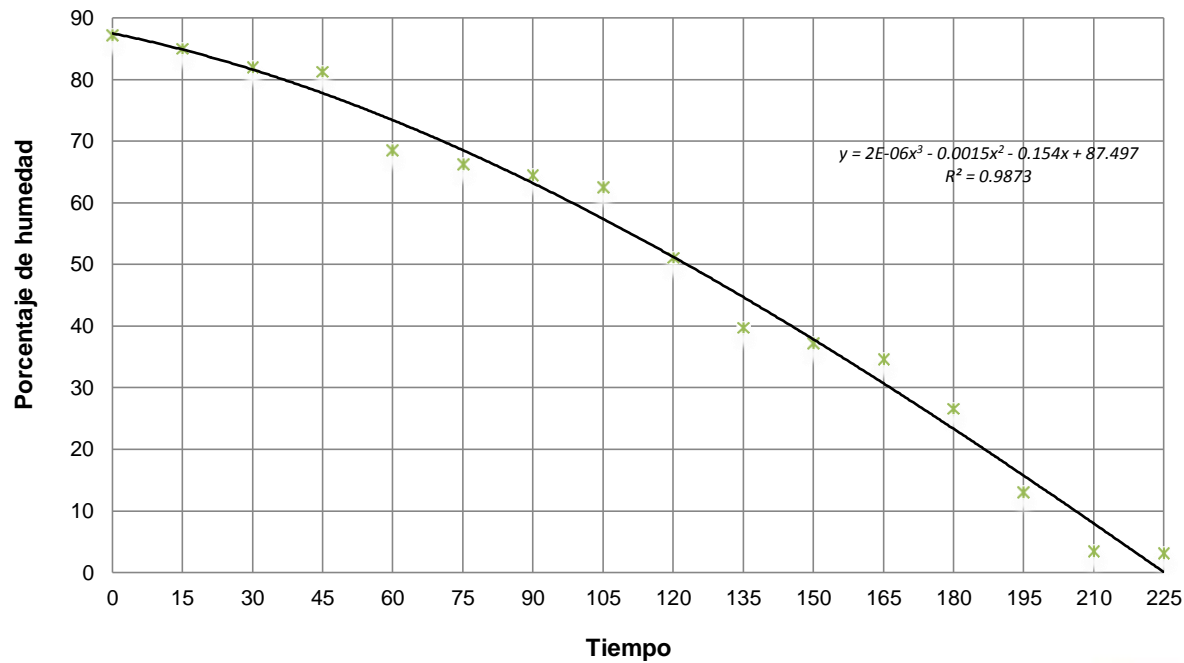
- La mayor concentración de cultivos se encuentra en las provincias de:
 - Guayas 15%
 - Manabí 45%
 - Esmeraldas 10%



HUMEDAD

Humedad inicial del 60 al 89 %

Humedad final del 8 al 10 %



UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES METEREOLÓGICAS DEL CABUYAL

Pais	Ecuador	Ubicación cartográfica
Región	Sierra	
Provincia	Carchi	
Parroquia	Juan Montalvo	
Latitud	0.583	
Longitud	-78.126	

Mes	Presión	Velocidad del viento	Temperatura ambiente	Humedad relativa del aire	Insolación (0°)	Insolación (15°)
	(kPa)	(m/s)	(°C)	(%)	(kWh/m ² día)	(kWh/m ² día)
Ene	87.6	2.33	19.9	80.3	3.96	4.06
Feb	87.6	1.93	20.3	78.8	4.09	4.10
Mar	87.6	1.87	20.6	77.6	4.34	4.23
Abr	87.6	2	20.9	74.6	4.17	4.10
May	87.7	2.21	21.2	67.6	3.91	3.93
Jun	87.7	2.70	21	61.7	3.80	3.86
Jul	87.8	2.92	21.1	54.4	4.03	4.08
Ago	87.8	2.99	21.9	50.8	4.05	4.02
Sep	87.7	2.89	22	57.3	3.88	3.76
Oct	87.7	2.79	21.3	66.5	3.86	3.82
Nov	87.6	2.7	20.3	75.2	3.74	3.80
Dic	87.6	2.66	19.9	80.6	3.69	3.80
Promedio						
	87.7	2.5	20.9	68.7	3.96	3.96

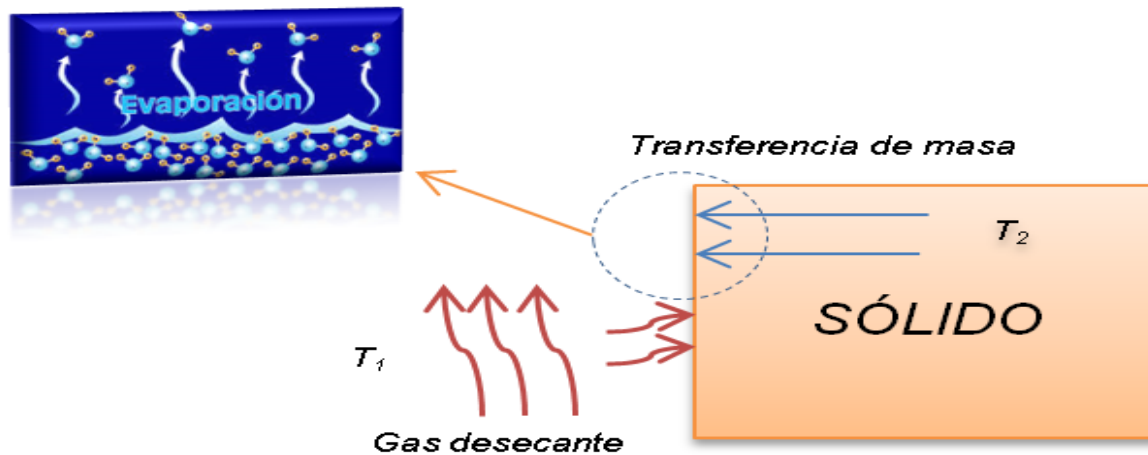


PROCESO DE SECADO

Fenómeno de transferencia de calor y masa

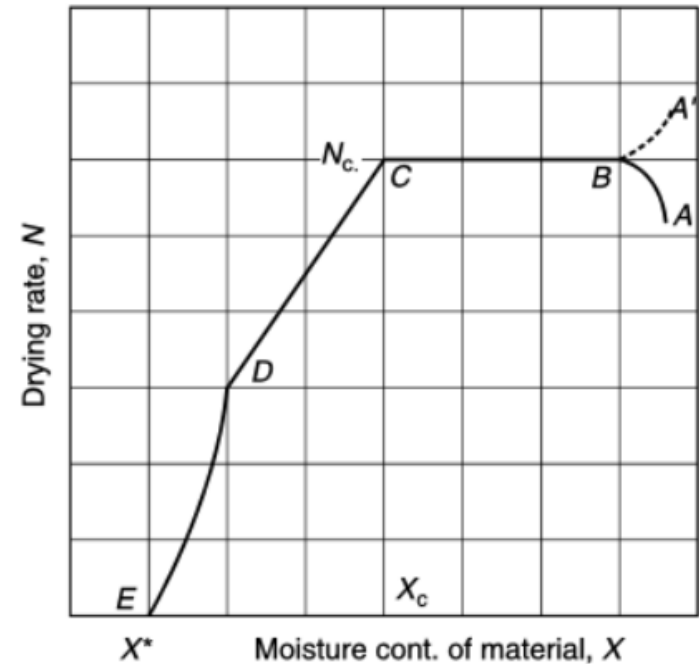
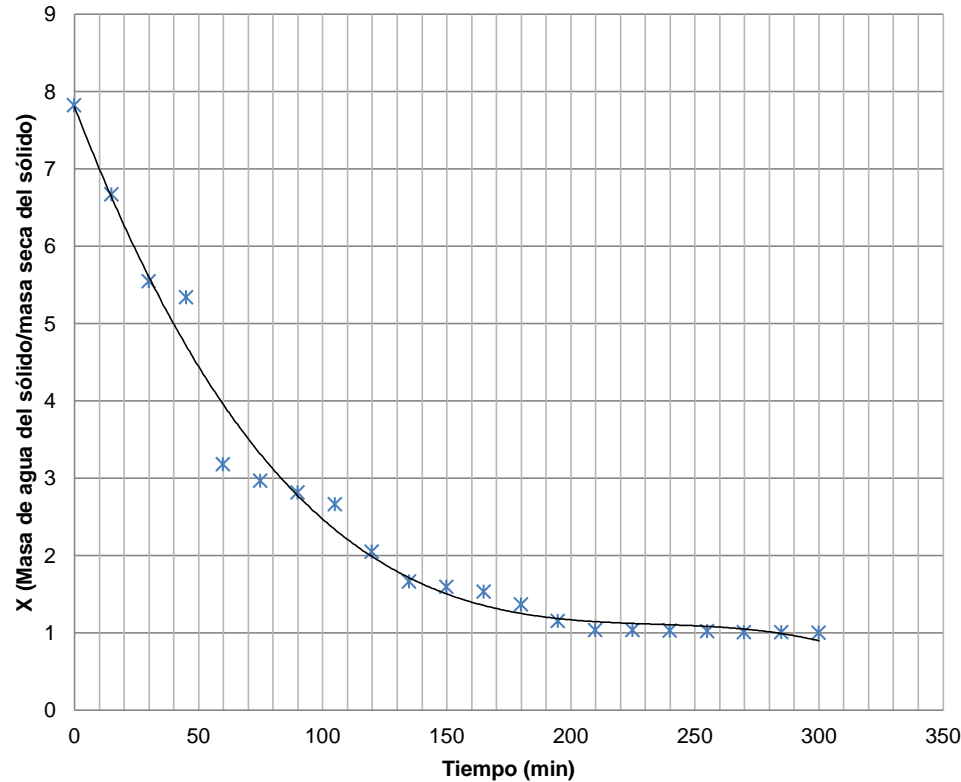
Evaporación del agua en la superficie exterior del producto

Transferencia de masa entre el interior del producto hacia el exterior

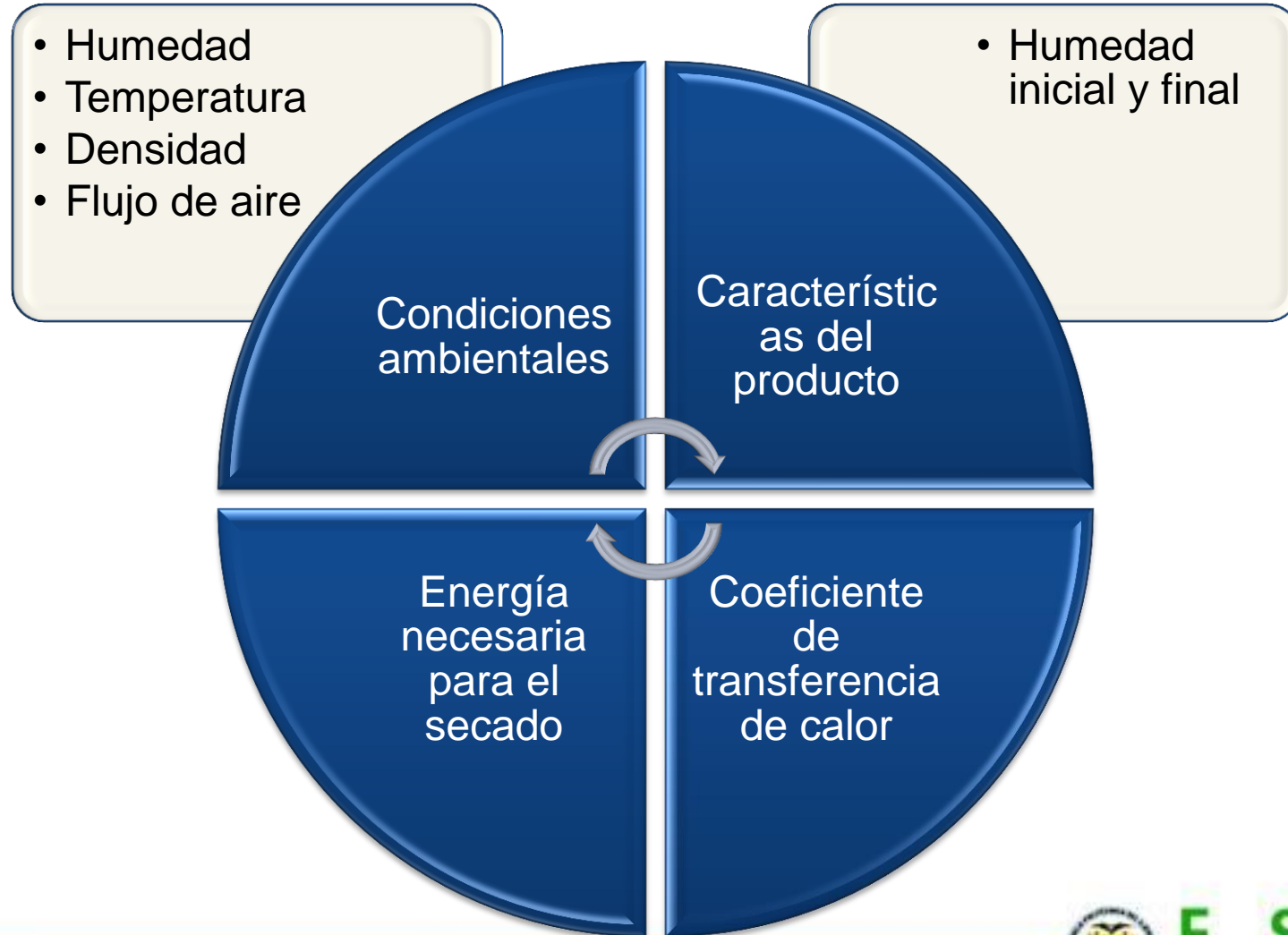


PERIODOS DE SECADO

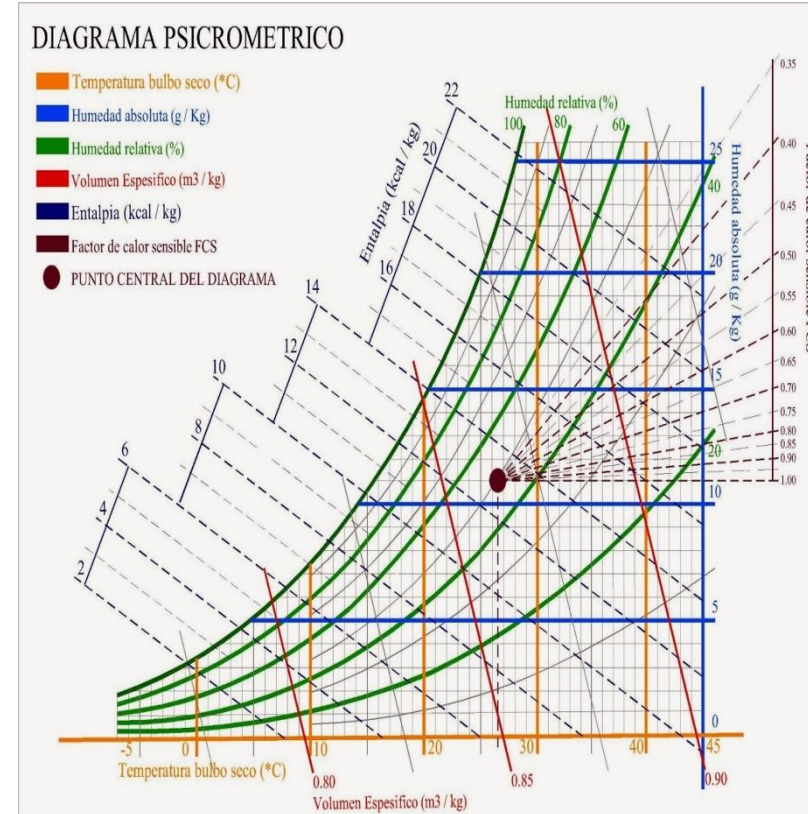
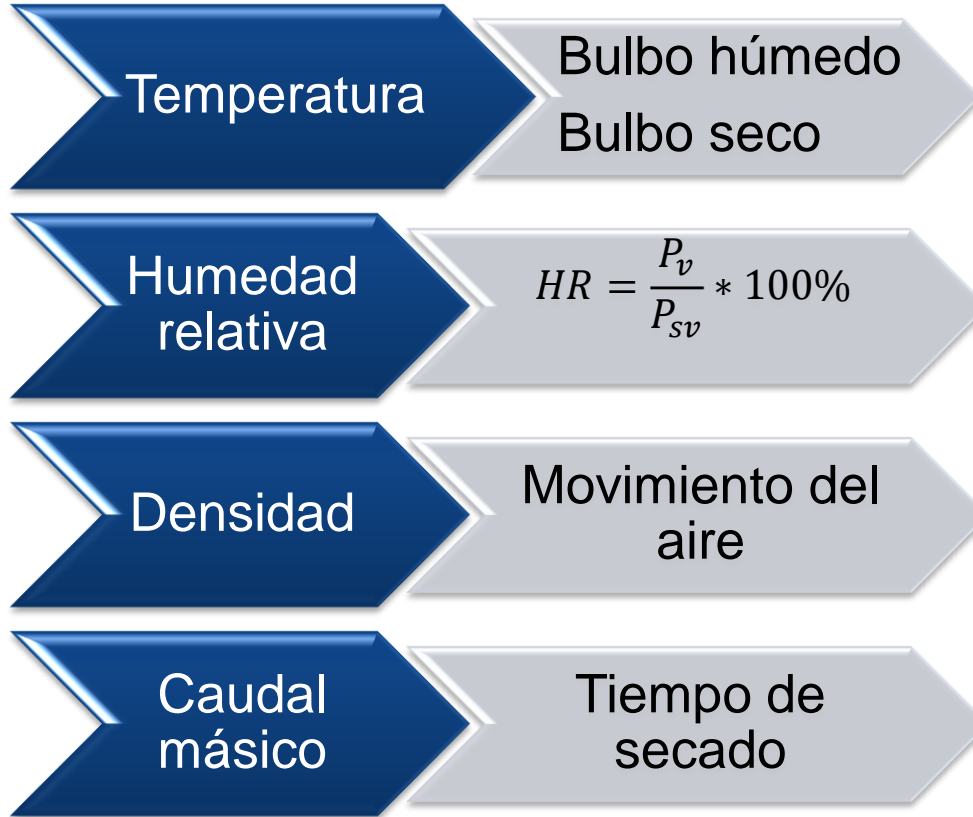
Proceso de secado = Cambios en la humedad interna del producto



VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE SECADO



CONDICIONES AMBIENTALES



CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Humedad
inicial y final
del producto

$$Y_s = \frac{m_w}{m_s} * 100\%$$

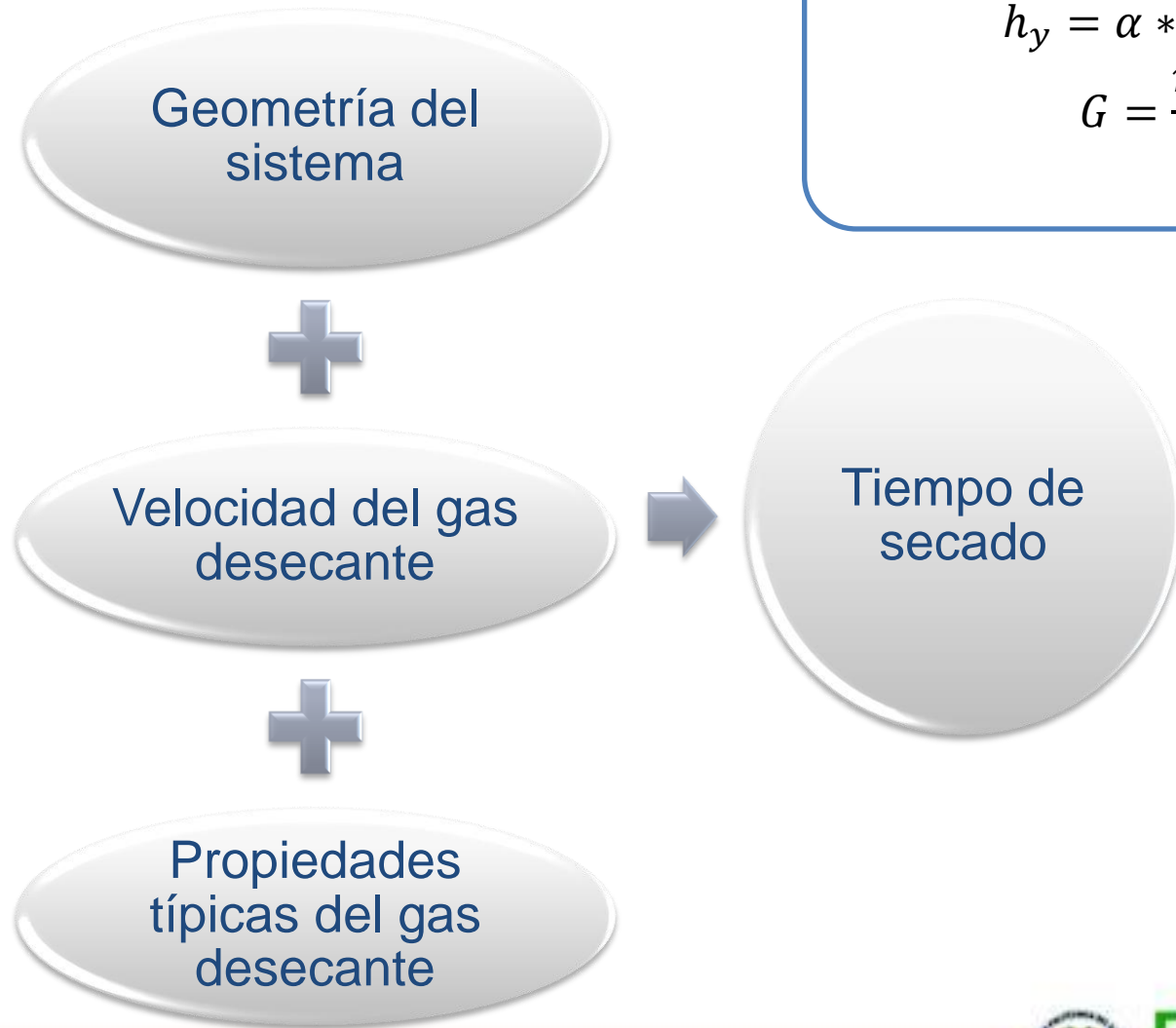
$$X_s = \frac{m_w}{m_T} * 100\%$$

Temperatura
máxima de
secado

Depende de cada producto y determina la capacidad de eliminar agua



COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR



$$h_y = \alpha * G^{0.78}$$
$$G = \frac{\dot{m}}{A}$$



ENERGÍA NECESARIA PARA EL SECADO

Calentar la masa del sólido

Calentar el agua contenida en el producto

Calentar el agua remanente

Evaporar el líquido

$$Q_{aji} = m_{saji} * Cp_{aji} * (T_i - T_a)$$

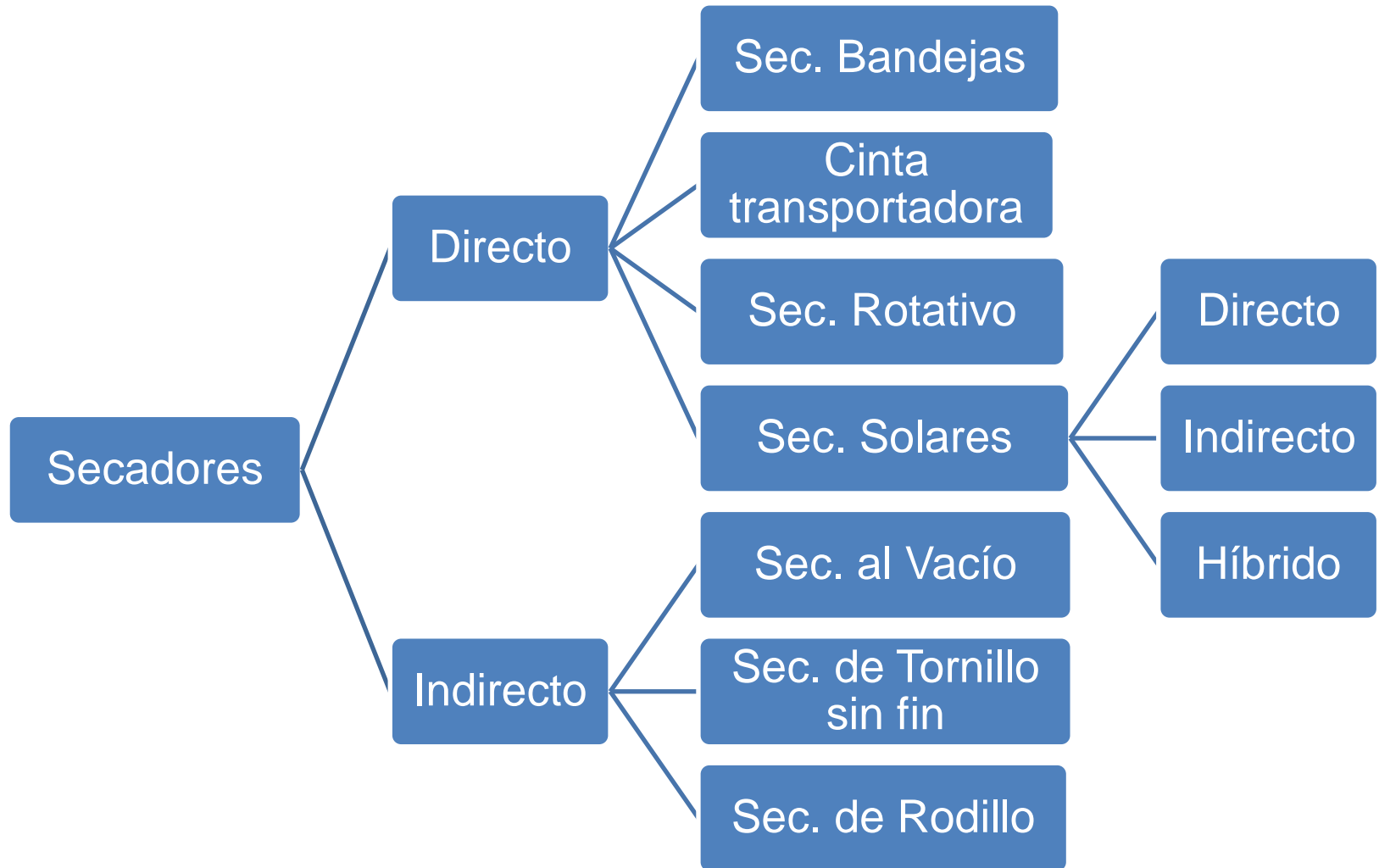
$$Q_{agua} = \Delta M_w * Cp_{wv} * (T_i - T_a)$$

$$Q_r = m_{wf} * Cp_w * (T_i - T_a)$$

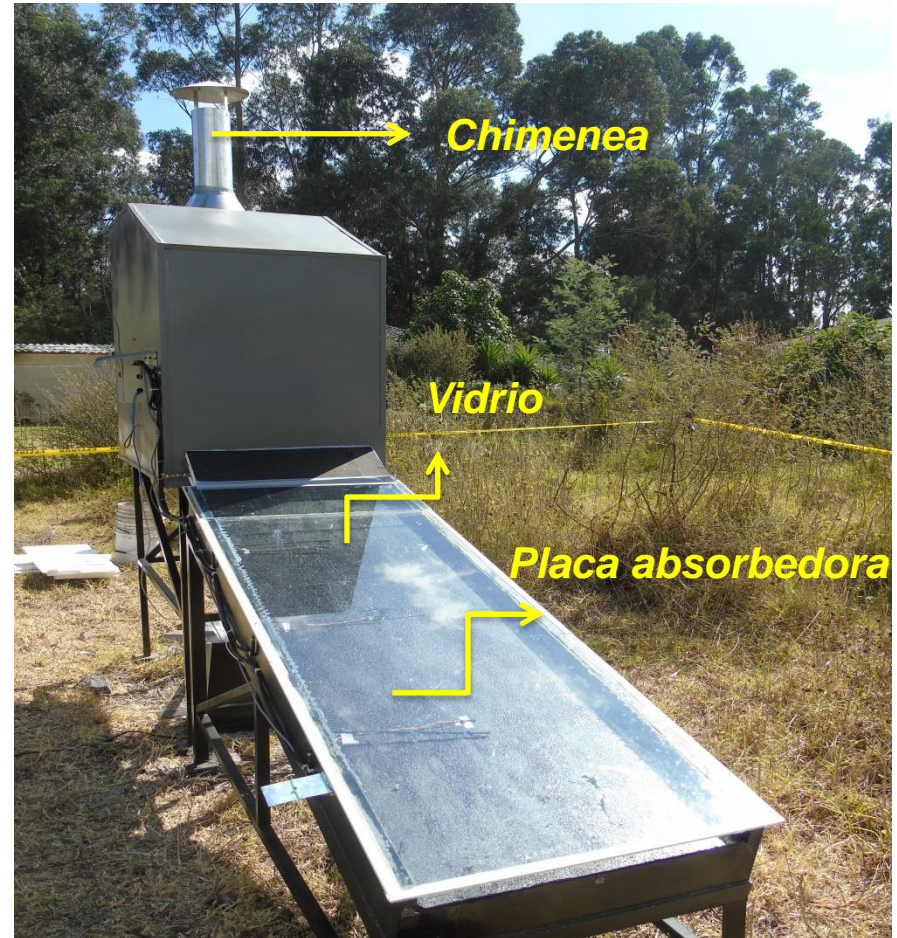
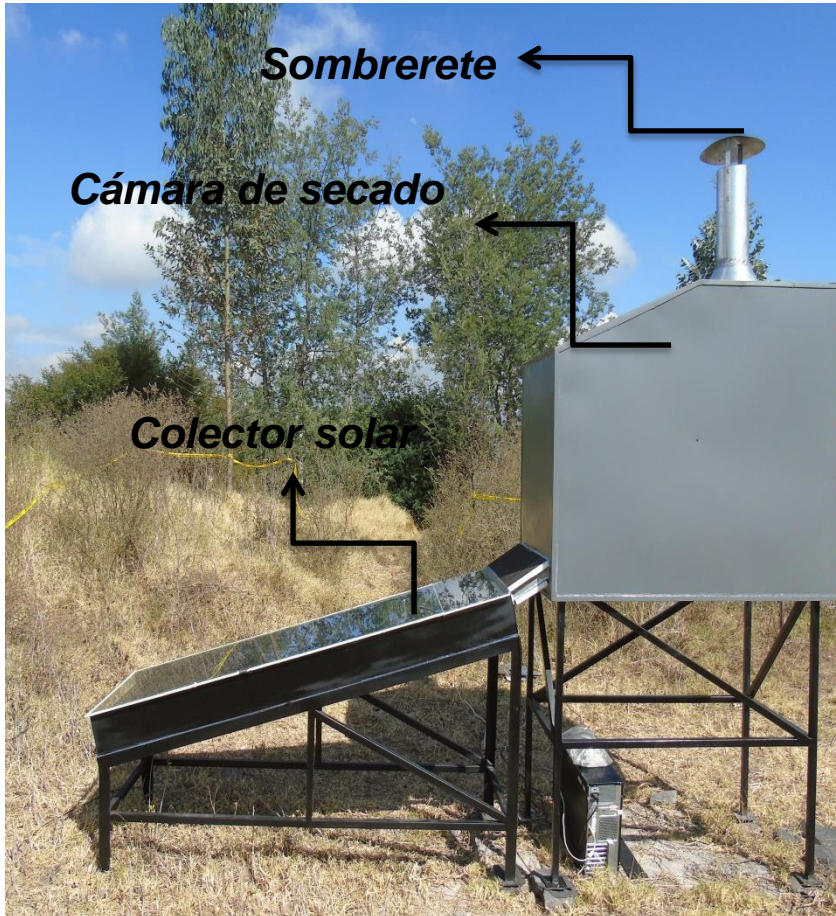
$$Q_{ev} = h_{fgi} * \Delta M_w$$



CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES



SECADOR SOLAR INDIRECTO

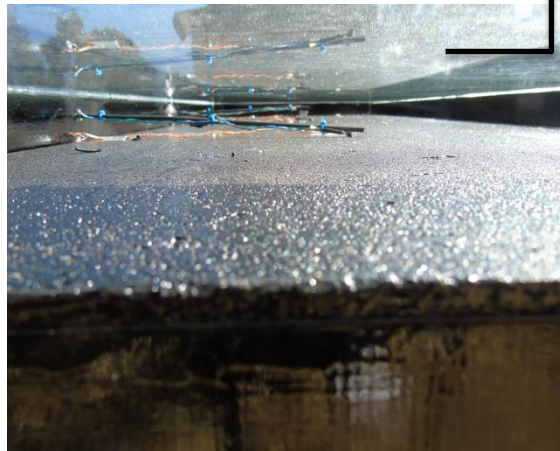


SECADOR SOLAR INDIRECTO

Clasificación	Ventajas	Desventajas
Secadores directos	-Simples -Bajo costo de construcción y operación	-Baja capacidad
Secadores indirectos	-Independiente de las condiciones ambientales -Periodos de secado cortos que los directos	-Más caros y complejos que los secadores directos
Secadores solares híbridos	-Capacidad para operar sin sol -Puede ser más rápido que los secadores directos e indirectos.	-Caros

Fuente: (Fudholi, Sopian, Ruslan, Alghoul, & Sulaiman, 2010)

COLECTOR SOLAR



Vidrio

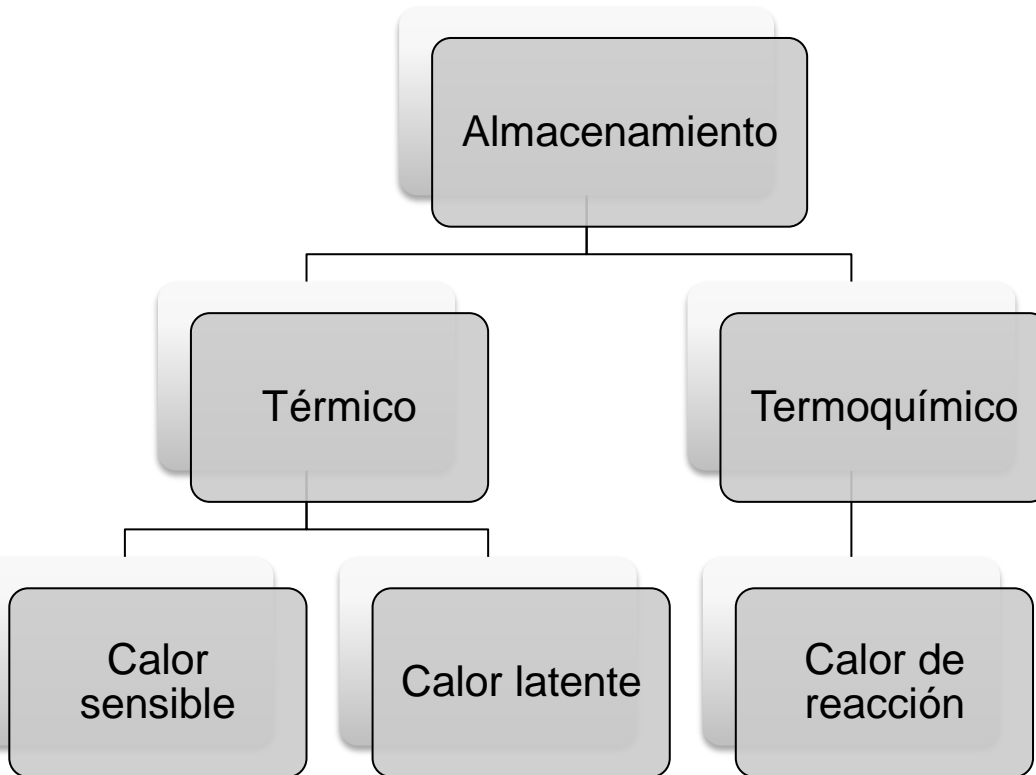
Carcasa

Placa Absorbedora

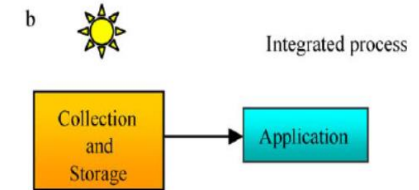
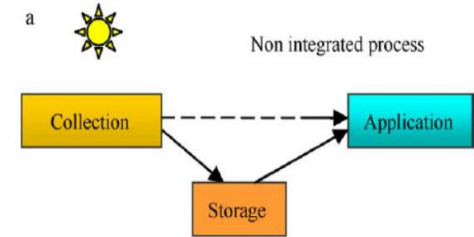


ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



Calor sensible=Aumento de la temperatura en un sólido o líquido



Material	Densidad (kg/m ³)	Cp (J/kg °C)
Cobre	8933	385
ASTM A36	7832	434
Ladrillo refractario	1920	790
Agua	1000	4190
Rocas	2150	745



DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO

Condiciones de funcionamiento no cambian durante el proceso de secado.

La temperatura dentro de la cámara es igual a $57\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperaturas de las paredes interiores = Temperatura de la cámara

El coeficiente de transferencia de calor es uniforme y constante

El porcentaje de saturación del aire es del 90%



PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO

Humedad en base húmeda inicial del 87%

Humedad en base húmeda final del 10 %

Temperatura superficial del ají es de 57 °C

Capacidad máxima del secador es de 25 kg

Tiempo de secado es de 33 horas



DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE SECADO Y BANDEJAS

$$A_{mcs} = \frac{M_T}{\rho_{aji} * \delta_{Lají}}$$

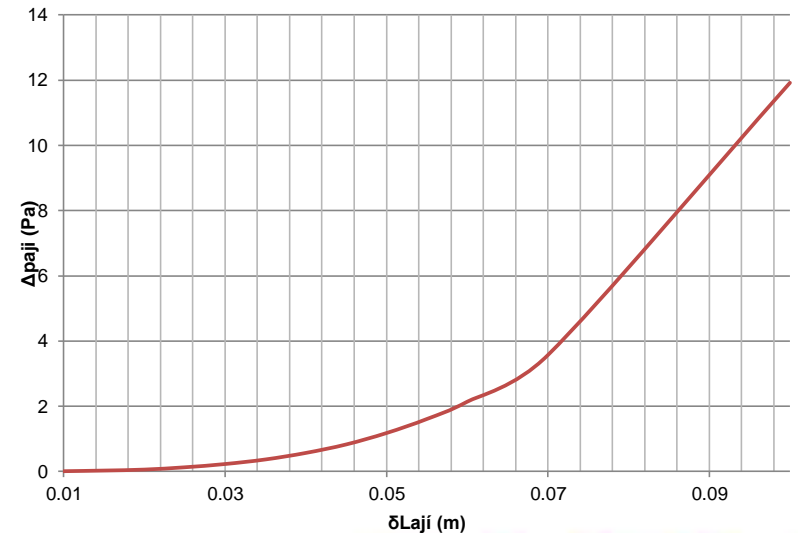
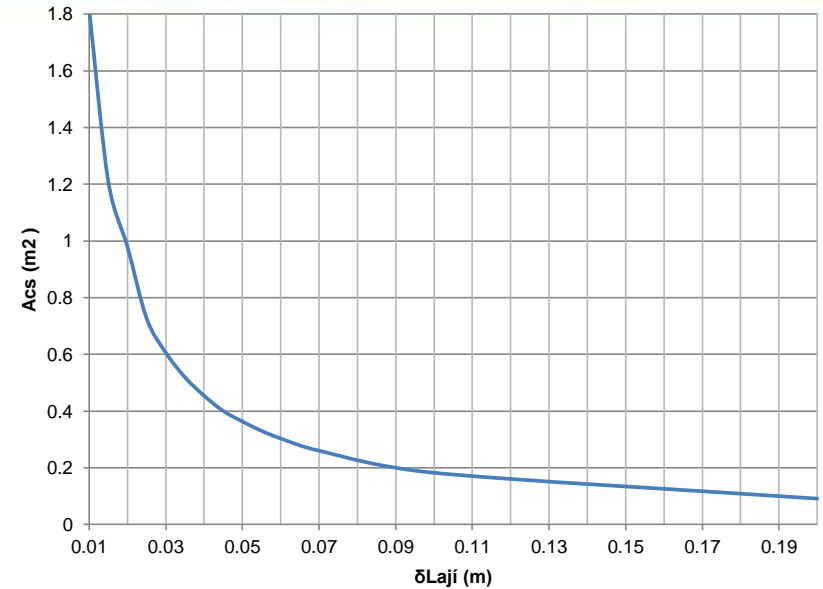
Dónde:

A_{mcs} = Área mínima de la cámara de secado (m²)

M_T = Capacidad total del secador (kg)

ρ_{aji} = Densidad del ají (kg/m³)

$\delta_{Lají}$ = Espesor del lecho de ají (m)



DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE SECADO Y BANDEJAS

	Criterio de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	%	W.F.
1	Caídas de presión		0,5	0,5	1	1	1	1	1	6	0,21	0,21
2	Área	0,5		0,5	1	1	1	1	1	6	0,21	0,21
3	No. Bandejas	0,5	0,5		1	1	1	0,5	1	5,5	0,20	0,20
4	Velocidad del aire					0,5	1	1	1	3,5	0,13	0,13
5	Energía necesaria para calentar				0,5		1	1	1	3,5	0,13	0,13
6	Distribución del aire							0,5	1	1,5	0,05	0,05
7	Uniformidad del secado			0,5			0,5		1	2	0,07	0,07
										28	1,00	1,00

Espesor del lecho

Criterio de evaluación	W.F.	$\delta = 0.07$			$\delta = 0.045$		$\delta = 0.025$	
		R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2	R.F.	Calif.3	
1 Caídas de presión	0,21	5	1,07	7	1,50	10	2,14	
2 Área	0,21	8	1,71	7	1,50	2	0,43	
3 No. Bandejas	0,20	5	0,98	9	1,77	4	0,79	
4 Velocidad del aire	0,13	1	0,13	8	1,00	5	0,63	
5 Energía necesaria para calentar	0,13	3	0,38	7	0,88	1	0,13	
6 Distribución del aire	0,05	1	0,05	6	0,32	9	0,48	
7 Uniformidad del secado	0,07	1	0,07	6	0,43	9	0,64	
	1,00		4,39		7,39		5,23	



DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE SECADO Y BANDEJAS

$$A_{csm} = \frac{25}{1270 * 0.045}$$

$$A_{csm} = 0.43 \text{ m}^2$$

$$A_{cs} = B_{cs} * D_{cs}$$

$$A_{cs} = 0.6 * 1.2$$

$$A_{cs} = 0.72 \text{ m}^2$$

$$M_{ab} = \frac{m_{ab}}{A_{ab}}$$

$$M_{ab} = \frac{0.191}{0.15 * 0.15}$$

$$M_{ab} = 8.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m_{AB} = A_b * M_{ab}$$

$$m_{AB} = 0.72 * 8.488$$

$$M_{AB} = 6.11 \text{ kg}$$

$$N_b = \frac{M_T}{m_{AB}}$$

$$N_b = \frac{25}{6.11}$$

$$N_b = 4$$

DIMENSIONES GENERALES DE LA CÁMARA DE SECADO

Dimensiones geométricas de la cámara de secado

Profundidad de la cámara de secado (D_{cs})	1.2 m
Ancho de la cámara de secado (B_{cs})	0.6 m
Altura de la cámara (H_{cs})	1.10 m
Distancia entre bandejas	0.1 m
Espacio libre parte inferior	0.15 m
Espacio libre parte superior	0.36 m
Bandejas	1.20 x 0.6 x 0.007 m
Espesor del tablero de madera	0.01 m



TIEMPO DE SECADO

$$R = - \frac{m_{saji} dX}{A_{co} dt}$$

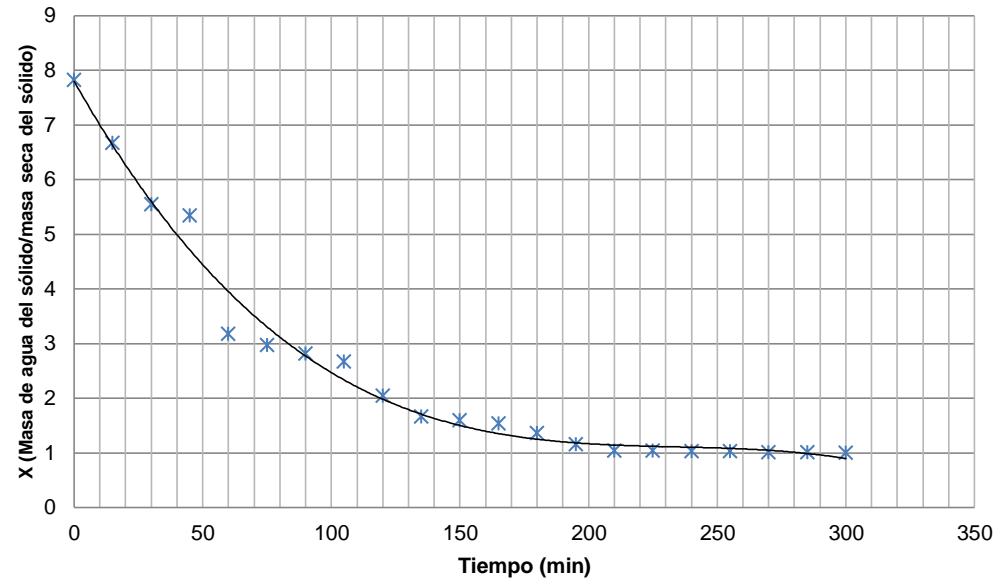
Dónde:

R = Velocidad de secado ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}$)

m_{saji} = Masa seca de ají (kg)

A_{co} = Área de contacto (m^2)

$\frac{dX}{dt}$ = Variación de la humedad en función del tiempo (1/s)



Tramo
constante

$$R = R_c$$

$$t_c = \frac{m_{saji} * (X_{si} - X_{scr})}{A_{co} * R_c}$$

Tramo
decreciente

$$R = aX$$

$$t_T - t_c = \frac{m_{saji}}{A_{co} * a} \ln \left(\frac{X_{scr}}{X_{sf}} \right)$$



TIEMPO DE SECADO

$$t_T = \frac{m_{saji}}{A_{co} * R_c} \left[X_{si} - X_{scr} + X_{scr} * \ln \left(\frac{X_{scr}}{X_{sf}} \right) \right]$$

$$m_{un} = \rho_{aji} * (\pi * r_{aji}^2 * e_{aji})$$

$$A_{un} = 2\pi * r_{aji} * e_{aji}$$

$$R_c = \frac{h_y * (T_u - T_i)}{h_{fgi}}$$

FLUJO DE AIRE PERPENDICULAR

$$h_y = 24.156 * G^{0,37}$$

$$A_{co} = 2 * \frac{M_T}{m_u} * A_u$$

$$A_{co} = 2 * \frac{25}{1270 * \pi * 0.01^2 * 0.01} * 2\pi * 0.01^2$$

$$A_{co} = 7.89 \text{ m}^2$$

$$h_{fgi} = (-0.57263 * T_{iF} + 1094.273) * 2.3260$$

$$h_{fgi} = (-0.57263 * 131 + 1094.273) * 2.3260$$

$$h_{fgi} = 2371 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$G = \frac{\dot{m}_{aire}}{A_{cs}}$$



TIEMPO DE SECADO

ITERACIONES DEL TIEMPO DE SECADO

m_{aire}	t_T	\dot{m}_{aire}	G	h_y	h_{rgi}	R_c	t_T	t_T
(kg)	(h)	(kg/s)	(kg/s m ²)	(W/m ² °K)	(kJ/kg)	(kJ/s kg)	(s)	(h)
				0.200	2370	1.688E-07	3459954	961.10
1803	961.10	0.0005	0.001	1.66	2370	1.404E-06	415935	115.54
1803	115.54	0.0043	0.006	3.64	2370	3.074E-06	189937	52.76
1803	52.76	0.0095	0.013	4.87	2370	4.109E-06	142120	39.48
1803	39.48	0.0127	0.018	5.42	2370	4.574E-06	127659	35.46
1803	35.46	0.0141	0.020	5.64	2370	4.760E-06	122690	34.08
1803	34.08	0.0147	0.020	5.72	2370	4.830E-06	120901	33.58
1803	33.58	0.0149	0.021	5.75	2370	4.856E-06	120245	33.40
1803	33.40	0.0150	0.021	5.77	2370	4.866E-06	120004	33.33
1803	33.33	0.0150	0.021	5.77	2370	4.870E-06	119915	33.31
1803	33.31	0.0150	0.021	5.77	2370	4.871E-06	119882	33.30
1803	33.30	0.0150	0.021	5.77	2370	4.872E-06	119869	33.30
1803	33.30	0.0150	0.021	5.77	2370	4.872E-06	119865	33.30
1803	33.30	0.0150	0.021	5.77	2370	4.872E-06	119863	33.30
1803	33.30	0.0150	0.021	5.77	2370	4.872E-06	119863	33.30
1803	33.30	0.0150	0.021	5.77	2370	4.872E-06	119862	33.30
1803	33.30	0.0150	0.021	5.77	2370	4.872E-06	119862	33.30

Variable	Valor
m_{aire}	0.015
G	0.021
h_y	5.77
R_c	4.872 E ⁻⁶

$$t_T = \frac{3.25}{7.89 * 4.872 E^{-6}} \left[0.87 - 0.64 + 0.64 * \ln \left(\frac{0.64}{0.1} \right) \right]$$

$$t_T \approx 33.3 h$$



CALOR MÍNIMO REQUERIDO PARA EL SECADO

$$Q_T = Q_{aji} + Q_{agua} + Q_r + Q_{ev} + Q_p$$

$$Q_p = q_p * t_T$$

Dónde:

Q_T = Calor mínimo necesario para el secado (kJ)

Q_{aji} = Calor necesario para calentar la masa de ají (kJ)

Q_{agua} = Calor sensible del agua (kJ)

Q_r = Calor remanente (kJ)

Q_{ev} = Calor latente de vaporización (kJ)

Q_p = Pérdidas de calor en la cámara de secado (kJ)

q_p = Flujo de pérdidas de calor en la cámara de secado (W)



CALOR MÍNIMO REQUERIDO PARA EL SECADO

Fórmula	Observaciones												
$Q_{aji} = m_{saji} * C_{paji} * (T_i - T_a)$ $Q_{aji} = 3.25 * 3840 * (328 - 293)$ $Q_{aji} = 436.800 \text{ kJ}$	$m_{saji} = M_T * \left(1 - \frac{X_{si}}{100}\right)$ $m_{saji} = 25 * \left(1 - \frac{87}{100}\right)$ $m_{saji} = 3.25 \text{ kg}$												
$Q_{agua} = \Delta M_w * C_{p_{wv}} * (T_i - T_a)$ $Q_{agua} = 21.39 * 1873 * (328 - 293)$ $Q_{agua} = 1402 \text{ kJ}$	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 20px;"> $\Delta M_w = M_T * \left[\frac{\left(1 - \frac{X_{si}}{100}\right) * (X_{si} - X_{sf}) * 100}{(100 - X_{sin}) * (100 - X_{sf})} \right]$ </div> $\Delta M_w = 25 * \left[\frac{\left(1 - \frac{87}{100}\right) * (87 - 10) * 100}{(100 - 87) * (100 - 10)} \right]$ $\Delta M_w = 21.39 \text{ kg}$ $C_{p_{wv}} = (C_1 - C_2 * T_i + C_3 * T_i^2 - C_4 * T_i^3) * 4184$ $C_{p_{wv}} = (C_1 - C_2 * 328 + C_3 * (328)^2 - C_4 * (328)^3) * 4184$ $C_{p_{wv}} = 1873 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ K}$ <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 70%;"></td> <td style="text-align: right;">C_1</td> <td style="text-align: right;">= 0.4522</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">C_2</td> <td style="text-align: right;">= 1.2922 E-4</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">C_3</td> <td style="text-align: right;">= 4.1701 E-7</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">C_4</td> <td style="text-align: right;">= 2.0040 E-10</td> </tr> </table>		C_1	= 0.4522		C_2	= 1.2922 E-4		C_3	= 4.1701 E-7		C_4	= 2.0040 E-10
	C_1	= 0.4522											
	C_2	= 1.2922 E-4											
	C_3	= 4.1701 E-7											
	C_4	= 2.0040 E-10											



CALOR MÍNIMO REQUERIDO PARA EL SECADO

Fórmula	Observaciones								
$Q_r = m_{wf} * C_{pw} * (T_i - T_a)$ $Q_r = 0.36 * 4179 * (328 - 293)$ $Q_r = 52.818 \text{ kJ}$	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> $m_{wf} = (M_T - \Delta M_w) * \frac{X_{sf}}{100}$ </div> $m_{wf} = (25 - 21.39) * \frac{10}{100}$ $m_{wf} = 0.36 \text{ kg}$ $C_{pw} = (C_1 - C_2 * T_i + C_3 * T_i^2 - C_4 * T_i^3) * 4184$ $C_{pw} = (C_1 - C_2 * 328 + C_3 * (328)^2 - C_4 * (328)^3) * 4184$ $C_{pw} = 4179 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}$ <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;"></td> <td style="text-align: right;">$C_1 = 2.1397$</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">$C_2 = 9.6814 \text{ E}^{-3}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">$C_3 = 2.6854 \text{ E}^{-5}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">$C_4 = 2.4214 \text{ E}^{-8}$</td> </tr> </table>		$C_1 = 2.1397$		$C_2 = 9.6814 \text{ E}^{-3}$		$C_3 = 2.6854 \text{ E}^{-5}$		$C_4 = 2.4214 \text{ E}^{-8}$
	$C_1 = 2.1397$								
	$C_2 = 9.6814 \text{ E}^{-3}$								
	$C_3 = 2.6854 \text{ E}^{-5}$								
	$C_4 = 2.4214 \text{ E}^{-8}$								
$Q_{ev} = h_{fgi} * \Delta M_w$ $Q_{ev} = 2371 * 21,39$ $Q_{ev} = 50708.7 \text{ KJ}$	$h_{fgi} = (-0.57263 * T_{iF} + 1094.273) * 2.3260$ $h_{fgi} = (-0.57263 * 131 + 1094.273) * 2.3260$ $h_{fgi} = 2371 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$								



PÉRDIDAS DE CALOR EN LA CÁMARA DE SECADO

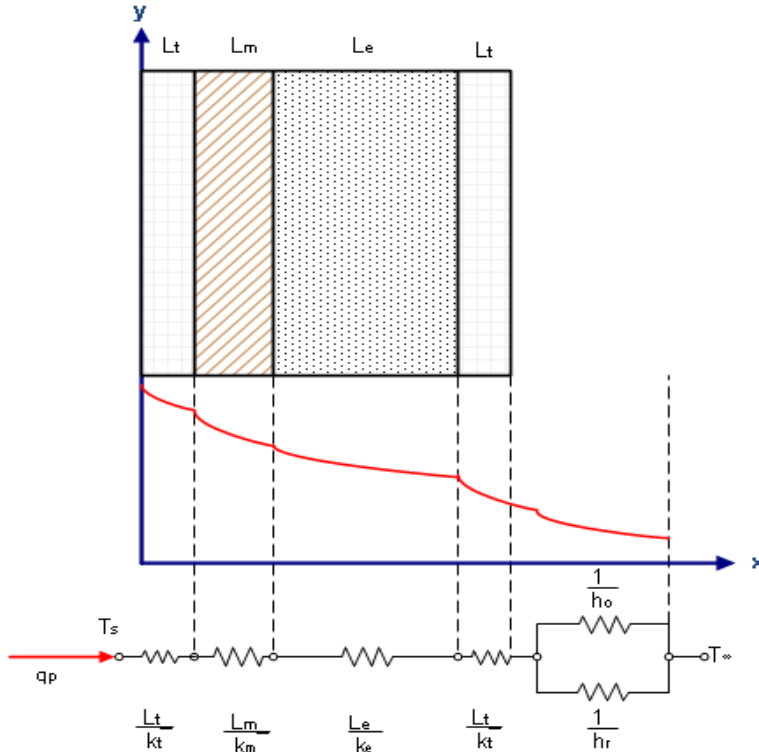
Criterio de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	Σ	%	W.F.
1 Conductividad Térmica		0.5	1	1	1	1	3	7.5	0.23	0.23
2 Densidad	0.5		1	1	1	1	3	7.5	0.23	0.23
3 Costos				0.5	1	1	3	5.5	0.17	0.17
4 Durabilidad			0.5		0.5	1	3	5	0.15	0.15
5 Facilidad de adquisición				0.5		1	3	4.5	0.14	0.14
6 Facilidad de implementación							3	3	0.09	0.09
								33	1.00	1.00

Aislante térmico

Criterio de evaluación	W.F.	EPS		Aire		Paja		Lana Vidrio	
		R.F.	Calif. 1	R.F.	Calif. 2	R.F.	Calif. 3	R.F.	Calif. 4
1 Conductividad Térmica	0,23	9	2,05	10	2,27	6	1,36	9	2,05
2 Densidad	0,23	9	2,05	10	2,27	3	0,68	6	1,36
3 Costos	0,17	7	1,17	10	1,67	8	1,33	5	0,83
4 Durabilidad	0,15	4	0,61	10	1,52	1	0,15	7	1,06
5 Facilidad de adquisición	0,14	9	1,23	10	1,36	3	0,41	6	0,82
6 Facilidad de implementación	0,09	9	0,82	1	0,09	5	0,45	9	0,82
	1,00		7,91		9,18		4,39		6,94



PÉRDIDAS DE CALOR EN LA CÁMARA DE SECADO



- A_T = Área total de la cámara de secado (m^2)
- h_o = Coeficiente de convección externa ($W/m^2\text{°K}$)
- h_r = Coeficiente de radiación ($W/m^2\text{°K}$)
- h_{cr} = Coeficiente de convección y radiación ($W/m^2\text{°K}$)
- k_e = Coeficiente de conducción del poliestireno expandido ($W/m\text{°K}$)
- k_t = Coeficiente de conducción de la chapa metálica ($W/m\text{°K}$)

$$q_p = \left[\frac{T_s - T_{\infty}}{\frac{L_t}{k_t} + \frac{L_m}{k_m} + \frac{L_e}{k_e} + \frac{L_t}{k_t} + \frac{1}{h_{cr}}} \right] * A_T$$

$$h_{cr} = h_o + h_r$$

$$q_p = \left[\frac{330 - 293}{\frac{0.001}{63.9} + \frac{0.01}{0.094} + \frac{0.06}{0.04} + \frac{0.001}{63.9} + \frac{1}{10.3 + 1.62}} \right] * 5.4$$

$$q_p = 118.2 \text{ W}$$

Dónde:

- q_p = Flujo de pérdidas de calor en la cámara de secado (W)
- T_s = Temperatura superficial en la cámara de secado (°K)
- T_{∞} = Temperatura ambiente (°K)
- L_t = Espesor de la chapa metálica(m)
- L_e = Espesor del aislante térmico (m)
- L_m = Espesor de la madera (m)
- k_m = Coeficiente de conducción de la madera ($W/m\text{°K}$)



PÉRDIDAS DE CALOR EN LA CÁMARA DE SECADO

ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A_T = (2 * H_{cs} + 2 * B_{cs}) * D_{cs} + 2(H_{cs} * B_{cs})$$

$$A_T = (2 * 1.10 + 2 * 0.6) * 1.2 + 2(1.10 * 0.6)$$

$$A_T = 5.4 \text{ m}^2$$

COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EXTERNA

$$h_o = 2.8 + 3 * v_w$$

$$h_o = 10.3 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

COEFICIENTE DE RADIACIÓN

$$h_r = \varepsilon_t * \sigma * (T_{so} + T_\infty) * (T_{so}^2 + T_\infty^2)$$

$$h_r = 0.87 * 5.67E^{-8} * (298 + 293) * (298^2 + 293^2)$$

$$h_r = 5.09 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$



PÉRDIDAS DE CALOR EN LA CÁMARA DE SECADO

Item	L_e (m)	T_{so} (°K)	h_r (W/m ² K)	q_p (W)	q_p %
1	0.03	296.30	1.62	212.49	20.15
2	0.04	295.61	1.62	167.85	15.92
3	0.05	295.16	1.62	138.72	13.16
4	0.06	294.84	1.62	118.20	11.21
5	0.07	294.60	1.62	102.97	9.77
6	0.08	294.42	1.62	91.22	8.65
7	0.09	294.27	1.62	81.87	7.77
8	0.1	294.16	1.62	74.26	7.04

SIN AISLANTE

CON AISLANTE

$$q_{pse} = \left[\frac{330 - 293}{\frac{0.001}{63.9} + \frac{0.01}{0.094} + \frac{0.001}{63.9} + \frac{1}{10.3 + 5.09}} \right] * 5.4$$

$$q_{pse} = 1054.32 \text{ W}$$

$$q_p = \left[\frac{330 - 293}{\frac{0.001}{63.9} + \frac{0.01}{0.094} + \frac{0.06}{0.04} + \frac{0.001}{63.9} + \frac{1}{10.3 + 1.62}} \right] * 5.4$$

$$q_p = 118.2 \text{ W}$$

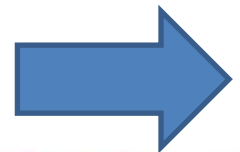
$$q_T = \frac{Q_T}{t_T}$$

$$q_T = \frac{66812686}{120240}$$

$$q_T = 556 \text{ W}$$

$$Q_T = 436.8E^3 + 1402E^3 + 52.818E^3 + 50708.7E^3 + 118.2 * 120240$$

$$Q_T = 66812686 \text{ J}$$



PARÁMETROS DE DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

Condiciones de funcionamiento no cambian durante el proceso de secado.

Modelo matemático estacionario

Se toma el valor de radiación promedio de la zona

Temperatura de entrada del colector = A la ambiente (20°C)

Temperatura a la salida del colector es de 57 °C



PARÁMETROS DE DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

La temperatura media del aire en el interior es la promedio es la promedio entre la entrada y salida.

Temperatura de la cubierta es el promedio entre la temperatura media del aire y la ambiente

El caudal másico en cualquier punto es el mismo



CAUDAL MÁSICO DE AIRE

Pressure: 87.7 kPa

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{m_{\text{aire}}}{t_T}$$

$$m_{\text{aire}} = m_{\text{saire}} + m_{\text{waire}}$$

$$m_{\text{aire}} = m_{\text{saire}} + m_{\text{saire}} * W_a$$

$$m_{\text{saire}} = \frac{\Delta M_w}{\Delta W}$$

ΔM_w = Variación de la masa de agua del ají (kg)
 ΔW = Variación de la humedad absoluta del aire durante el secado (kg_{agua} / kg_{aire seco})

$$\Delta W = (W_u - W_a) * 1 E^{-3}$$

$$\Delta W = 0.012 \frac{Kg_{\text{agua}}}{kg_{\text{aire seco}}}$$

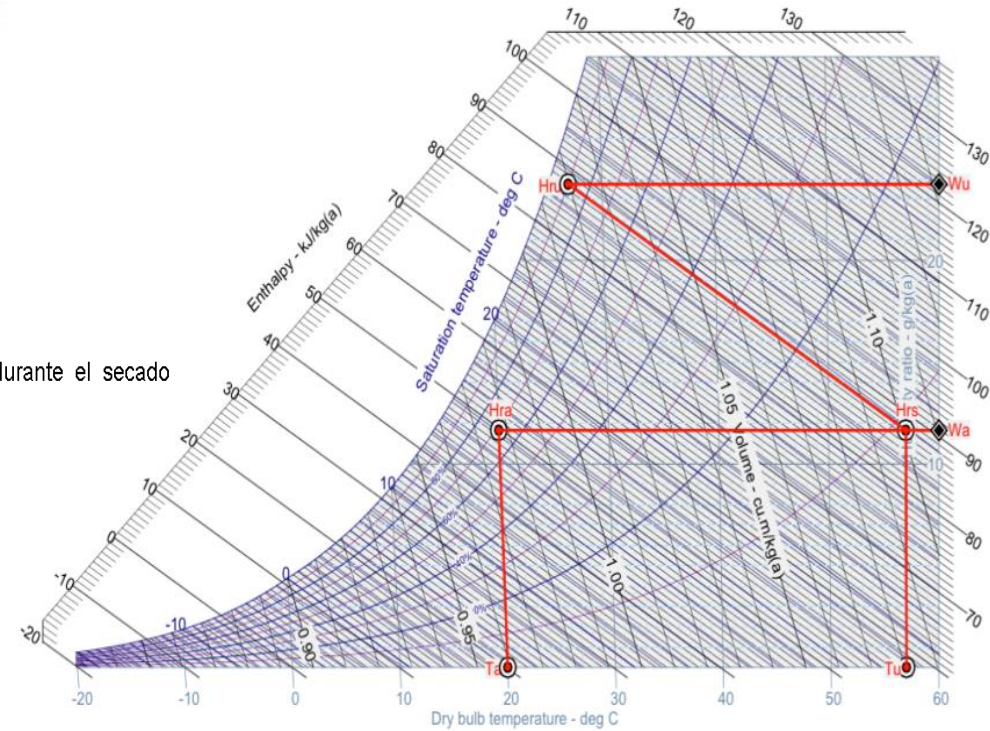
$$m_{\text{saire}} = \frac{21.39}{0.012}$$

$$m_{\text{saire}} = 1782.5 kg_{\text{aire seco}}$$

$$m_{\text{aire}} = 1782.5 + (1782.5 * 11.6510) * 1 E^{-3}$$

$$m_{\text{aire}} = 1803.26 kg$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.015 \frac{kg}{s}$$



Parámetro	Símbolo	Cantidad	Unidad
Humedad absoluta del ambiente	Wa	11.6510	$\frac{g_{\text{agua}}}{kg_{\text{aire seco}}}$
Humedad absoluta a la salida de la cámara de secado	Wu	23.7447	$\frac{g_{\text{agua}}}{kg_{\text{aire seco}}}$
Humedad relativa del aire a la salida del colector	Hrs	9.3	%
Temperatura del aire a la salida de la cámara de secado	T ₂	27	°C



ESPE
 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
 CAMINO A LA EXCELENCIA

MODELO MATEMÁTICO DEL COLECTOR SOLAR



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CONSIDERACIONES PARA EL MODELAMIENTO

Flujo de calor unidimensional y perpendicular al colector

Pérdidas de calor en las paredes laterales del colector son despreciables

La transferencia de conducción y la radiación absorbida por el vidrio son despreciables

Propiedades termofísicas constante durante el proceso



CONSIDERACIONES PARA EL MODELAMIENTO

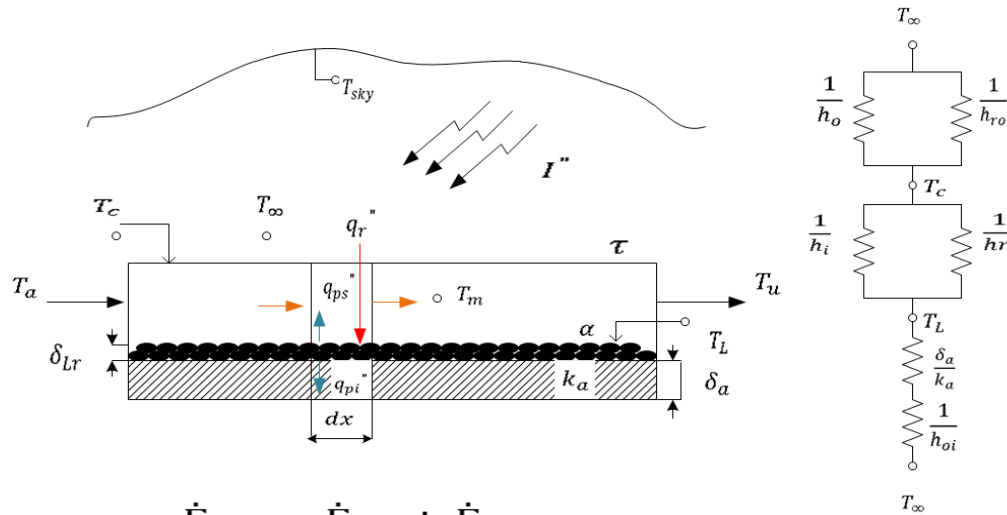
El calentamiento del aire se analiza en estado estable y en estado transitorio el calentamiento del lecho

Las pérdidas de calor son desde el lecho hacia el ambiente y desde el lecho a la parte inferior del colector

La temperatura en cualquier punto en el lecho es uniforme para cualquier instante de tiempo



MODELO MATEMÁTICO PARA EL LECHO



$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal} + \dot{E}_{atm}$$

$$q_r'' = h_i(T_L - T_m) + (U_{sLa} + U_{iLa})(T_L - T_\infty) + \rho_{Lr}\delta_{Lr}c_{pLr} \frac{dT_L}{dt}$$

$$q_r'' = I'' * \tau * \alpha$$

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{I''\tau\alpha + h_iT_m + (U_{sLa} + U_{iLa})T_\infty}{\rho_{Lr}\delta_{Lr}c_{pLr}} - \frac{(h_i + (U_{sLa} + U_{iLa}))}{\rho_{Lr}\delta_{Lr}c_{pLr}} T_L$$

M ←
J →

$$T_L = T_a e^{-Jt\tau_L} + \frac{M}{J} (1 - e^{-Jt\tau_L})$$



DIMENSIONAMIENTO DEL COLECTOR

- LONGITUD DEL COLECTOR

$$T_m = \frac{[I'' \tau \alpha - (U_{sLa} + U_{iLa})(T_L - T_\infty)] \cdot w \cdot L + T_a}{\dot{m}_{\text{aire}} c_{p\text{aire}}}$$

$$L = \frac{\dot{m}_{\text{aire}} c_{p\text{aire}} (T_m - T_a)}{w [I'' \tau \alpha - (U_{sLa} + U_{iLa})(T_L - T_\infty)]}$$

- TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL LECHO DE ROCAS

$$q_r'' = h_i (T_L - T_m) + (U_{sLa} + U_{iLa})(T_L - T_\infty)$$



$$T_L = \frac{q_r'' + (h_i T_m + (U_{sLa} + U_{iLa}) T_\infty)}{h_i + (U_{sLa} + U_{iLa})}$$



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

<p>Temperatura media del aire</p> $T_m = \frac{T_u + T_a}{2}$ $T_m = \frac{293 + 330}{2}$ $T_m = 311.5 \text{ } ^\circ K$	<p>Cp del aire</p> $C_{p\text{aire}} = (C_5 - C_6 * T_m + C_7 * T_m^2 - C_8 * T_m^3) * 4184$ $C_{p\text{aire}} = 1.005E^3 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ K}$ <p> $C_5 = 0.2443$ $C_6 = 4.2042 E^{-5}$ $C_7 = 9.6113 E^{-8}$ $C_8 = 1.1638 E^{-11}$ </p>
<p>Radiación solar</p> $i'' = \frac{I_T''}{h_{ne}}$ $i'' = \frac{3690}{4}$ $i'' = 922.5 \frac{W}{m^2}$	<p>Flujo de aire</p> $\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{qT}{(T_u - T_a) * C_{p\text{aire}}}$ $\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{556}{(330 - 293) * 1.005E^3}$ $\dot{m}_{\text{aire}} = 0.015 \frac{kg}{s}$
<p>Coefficiente de convección exterior</p> $h_o = 10.3 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$	<p>Temperatura del cielo</p> $T_{sky} = 0.0552 * T_\infty^{1.5}$ $T_{sky} = 277 \text{ } ^\circ K$



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

COEFICIENTE GLOBAL DE TRASFERENCIA DE CALOR

$$U_T = U_{sLa} + U_{iLa}$$

Coeficiente global en la parte superior

$$U_{sLa} = \frac{(h_o + h_{ro})(h_i + h_{ri})}{(h_o + h_{ro} + h_i + h_{ri})}$$

Coeficiente global por la parte inferior

$$U_{iLa} = \frac{k_e h_{oi}}{\delta_p h_{oi} + k_e}$$

$$U_{iLa} = \frac{0.04 * 10.3}{0.1 * 10.3 + 0.04}$$

$$U_{iLa} = 0.4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Temperatura de la cubierta

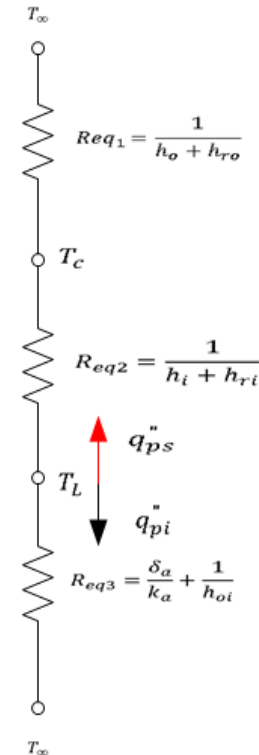
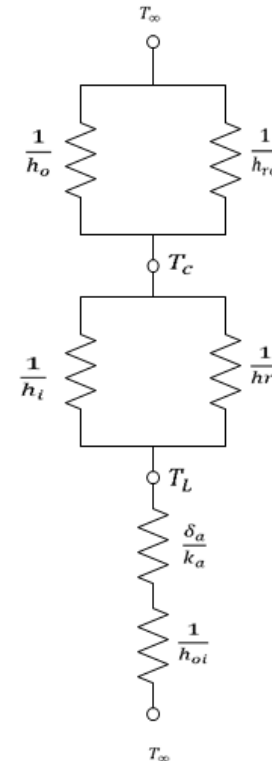
$$T_c = \frac{T_m + T_\infty}{2}$$

$$T_c = \frac{311.5 + 293}{2}$$

$$T_c = 302.25 \text{ } ^\circ K$$

$$\frac{T_L - T_c}{R_{eq2}} = \frac{T_c - T_\infty}{R_{eq3}}$$

$$T_c = \frac{T_L(h_{ri} + h_i) + T_a(h_{ro} + h_o)}{h_i + h_o + h_{ri} + h_i}$$



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Coef. De radiación entre la cubierta y el cielo

$$h_{ro} = \frac{\varepsilon_c * \sigma (T_c^4 - T_{sky}^4)}{(T_c - T_{\infty})}$$

Coef. De convección en el interior del colector

$$h_i = \frac{Nu_{D_h} k_{aire}}{D_h}$$

Coef. De conducción del aire

$$k_{aire} = (0.03743 + 7.9889E^{-4} * T_m - 1.6889E^{-7} * T_m^2) * 0.1$$

$$k_{aire} = 0.027 \frac{W}{m \cdot K}$$

Diámetro hidráulico

$$D_h = \frac{2aw}{a + w}$$

$$D_h = \frac{2(0.04 * 0.6)}{0.04 + 0.6}$$

$$D_h = 0.075 \text{ m}$$

Viscosidad dinámica del aire

$$\mu_{T_m} = \frac{(1.4676E^{-6} * (T_m)^{\frac{3}{2}})}{107.87 + T_m}$$

$$\mu_{T_m} = \frac{(1.4676E^{-6} * (311.5)^{\frac{3}{2}})}{107.87 + 311.5}$$

$$\mu_{T_m} = 1.924E^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Número de Reynolds (Sección rectangular)

$$Re_{cl} = \frac{2 * \dot{m}_{aire}}{\mu_{T_m} * (a + w)}$$

$$Re_{cl} = \frac{2 * 0.015}{1.924E^{-5} * (0.04 + 0.6)}$$

$$Re_{cl} = 2399$$



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Número de Nusselt

$$\frac{w}{a} = \frac{0.6}{0.04} = 15$$

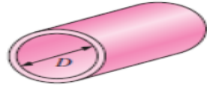
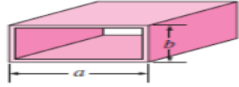
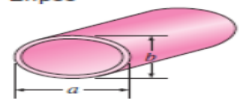



$$Nu = 7.54$$

$$h_i = \frac{Nu D_h k_{aire}}{D_h}$$

$$h_i = \frac{7.54 * 0.027}{0.075}$$

$$h_i = 2.71 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

Configuración geométrica del tubo	alb o θ°	Número de Nusselt		Factor de fricción f
		T _s = Const.	q̇ _s = Const.	
Círculo 	—	3.66	4.36	64.00/Re
Rectángulo 	1	2.98	3.61	56.92/Re
	2	3.39	4.12	62.20/Re
	3	3.96	4.79	68.36/Re
	4	4.44	5.33	72.92/Re
	6	5.14	6.05	78.80/Re
	8	5.60	6.49	82.32/Re
∞	7.54	8.24	96.00/Re	
Elipse 	alb	3.66	4.36	64.00/Re
	1	3.74	4.56	67.28/Re
	2	3.79	4.88	72.96/Re
	4	3.72	5.09	76.60/Re
	16	3.65	5.18	78.16/Re
Triángulo 	θ	1.61	2.45	50.80/Re
	10°	2.26	2.91	52.28/Re
	30°	2.47	3.11	53.32/Re
	60°	2.34	2.98	52.60/Re
	120°	2.00	2.68	50.96/Re

Coef. Radiación entre el lecho de rocas y la cubierta

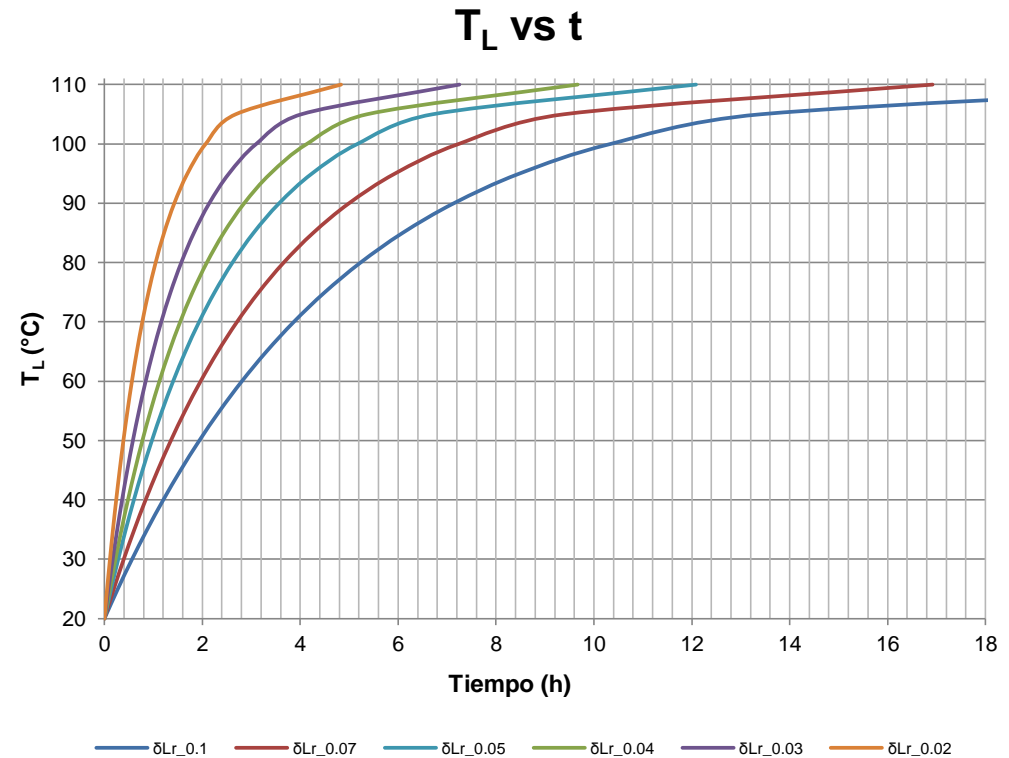
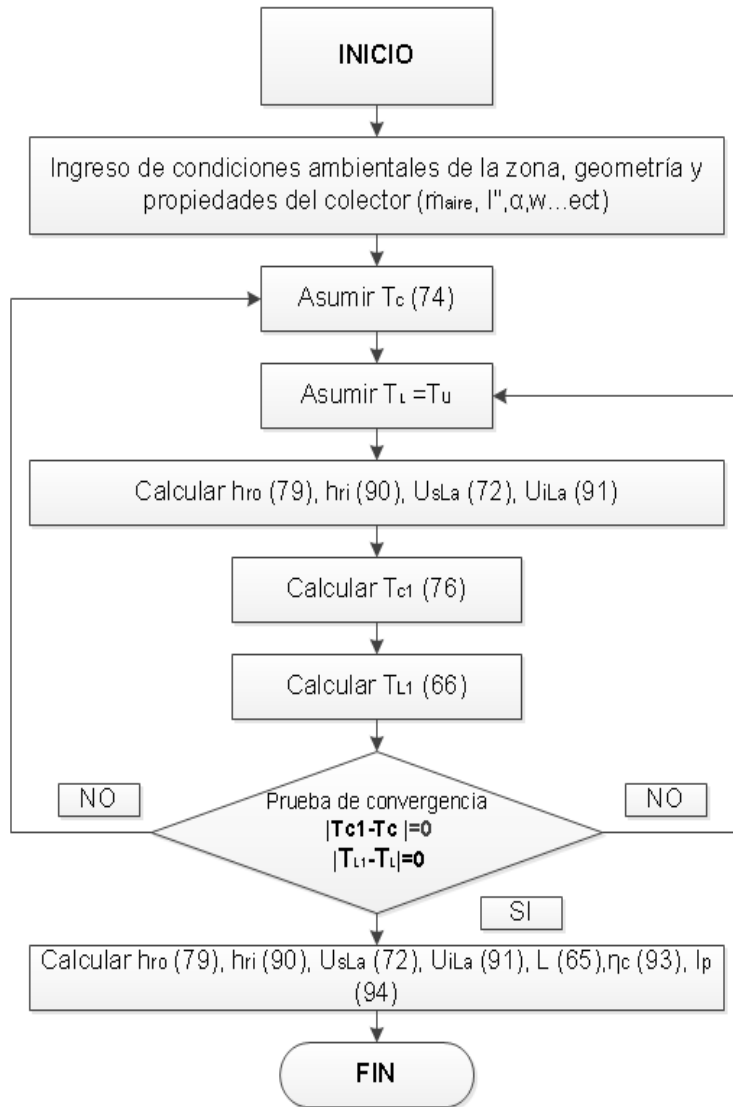
$$h_{ri} = \frac{\sigma(T_L^2 + T_c^2)(T_L + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{1}{\epsilon_{Lr}} - 1}$$

Coef. Convección en la parte inferior del colector

$$h_{oi} = 10.3 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

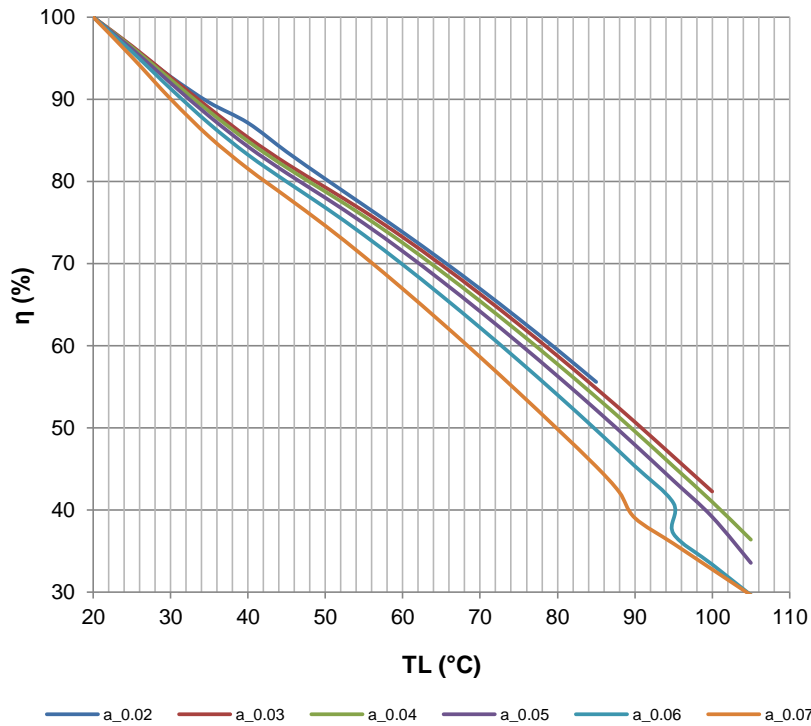


SIMULACIÓN DEL COLECTOR ALMACENADOR

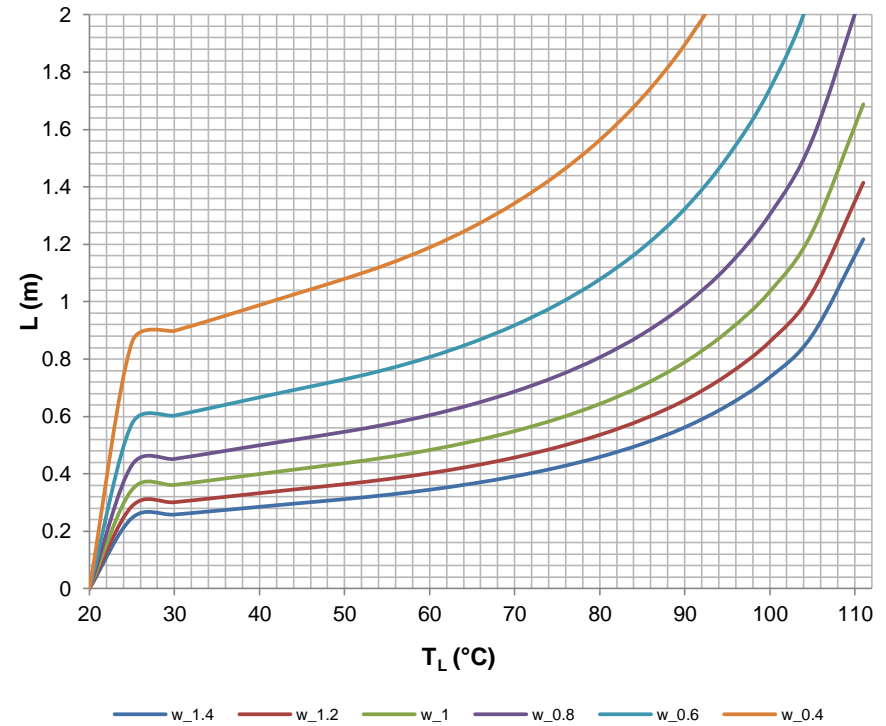


SIMULACIÓN DEL COLECTOR ALMACENADOR

η vs T_L



L vs T_L



Dimensiones del colector

Símbolo	Valor
a	0.05 m
w	0.6 m
L	2 m



SIMULACIÓN DEL COLECTOR ALMACENADOR

SIMULACIÓN DEL COLECTOR-ALMACENADOR
($w=0.6, a=0.05, \delta L = 0.05$)

No.	T_c	h_{ro}	h_{ri}	U_{sla}	U_{ila}	T_L	L	I_p	η_c
	(°K)	(W/m ² °K)	(W/m ² °K)	(W/m ² °K)	(W/m ² °K)	(°K)	(m)	(W/m ²)	(%)
1	302.250	13.658	5.565	5.867	0.522	303.00	0.63	58.67	93.64
2	318.374	8.864	9.284	7.183	0.522	396.62	9.06	744.25	19.32
3	326.392	8.381	8.981	6.996	0.522	382.09	2.70	623.34	32.43
4	327.043	8.357	9.077	7.030	0.522	383.90	2.97	639.04	30.73
5	327.126	8.354	9.066	7.026	0.522	383.56	2.92	636.29	31.03
6	327.126	8.354	9.068	7.027	0.522	383.61	2.92	636.66	30.99
7	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.60	30.99
8	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
9	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
10	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
11	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
12	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
13	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
14	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99
15	327.127	8.354	9.068	7.026	0.522	383.60	2.92	636.61	30.99

Resultados del modelo matemático del colector
 $L = 2 \text{ m } w = 0.6 \text{ m } a = 0.05 \text{ m}$

T_{Le}	T_{Lmax}	T_{Lm}	T_c	T_m
111 °C	105 °C	62.5 °C	33 °C	62.47 °C
h_{ro}	h_{ri}	h_i	U_{sLa}	U_{iLa}
$8.35 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$2.2 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$0.52 \frac{W}{m^2 \cdot K}$



EFICIENCIA DEL SISTEMA DE SECADO

EFICIENCIA DEL COLECTOR

$$\eta_{cl} = \frac{q_{neto}}{I''} * 100$$

$$\eta_{cl} = \frac{I'' - I_p''}{I''} * 100$$

$$I_p'' = U_{sLa} * (T_L - T_{\infty})$$

$$I_p'' = 7 * (105 - 20)$$

$$I_p'' = 587.36 \frac{W}{m^2}$$

$$\eta_{cl} = \frac{922.5 - 587.36}{922.5} * 100$$

$$\eta_{cl} = 36.3 \%$$

EFICIENCIA DEL SECADOR

$$\eta_{sc} = \frac{T_u - T_2}{T_u - T_{\infty}} * 100\%$$

$$\eta_{sc} = \frac{57 - 27}{57 - 20} * 100\%$$

$$\eta_{sc} = 81\%$$

EFICIENCIA DEL SISTEMA

$$\eta_{si} = \eta_{cl} * \eta_{sc} * 100\%$$

$$\eta_{si} = 0.36 * 0.83 * 100\%$$

$$\eta_{si} = 29.88 \%$$

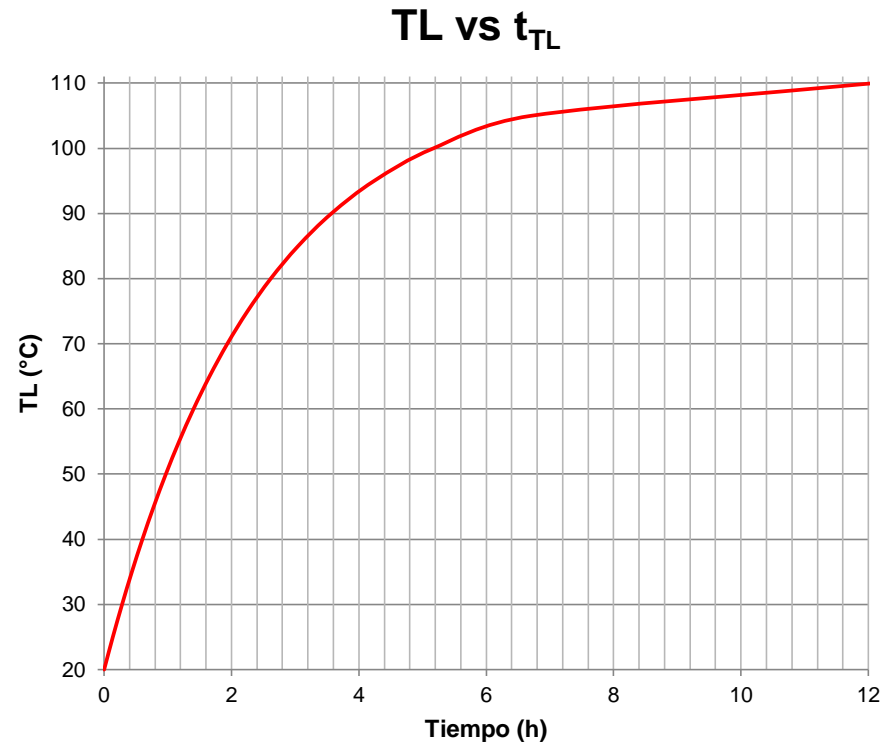


TIEMPO NECESARIO PARA LLEGAR A T_{Lm}

$$t_{T_L} = -\frac{\ln\left(\frac{T_L * J - M}{T_a * J - M}\right)}{J}$$

$$t_{T_L} = -\frac{\ln\left(\frac{335 * 0.00011 - 0.044}{293 * 0.00011 - 0.044}\right)}{0.00011}$$

$$t_{T_L} = 5400 \text{ s} \approx 1.50 \text{ h}$$



ENERGÍA ALMACENADA EN EL LECHO DE ROCAS

$$Q_a = \left[\frac{\rho_{Lr} * C_{pLr} * V_{Lr} * (M - T_a * J)}{J} \right] * (e^{-Jt_{he}} - 1)$$

$$Q_a = \left[\frac{2150 * 745 * 0.024 * (0.044 - 293 * 1.1E^{-4})}{1.1E^{-4}} \right] * (e^{-1.1E^{-4} * 4 * 3600} - 1)$$

$$Q_a = -2.84E^6 J$$

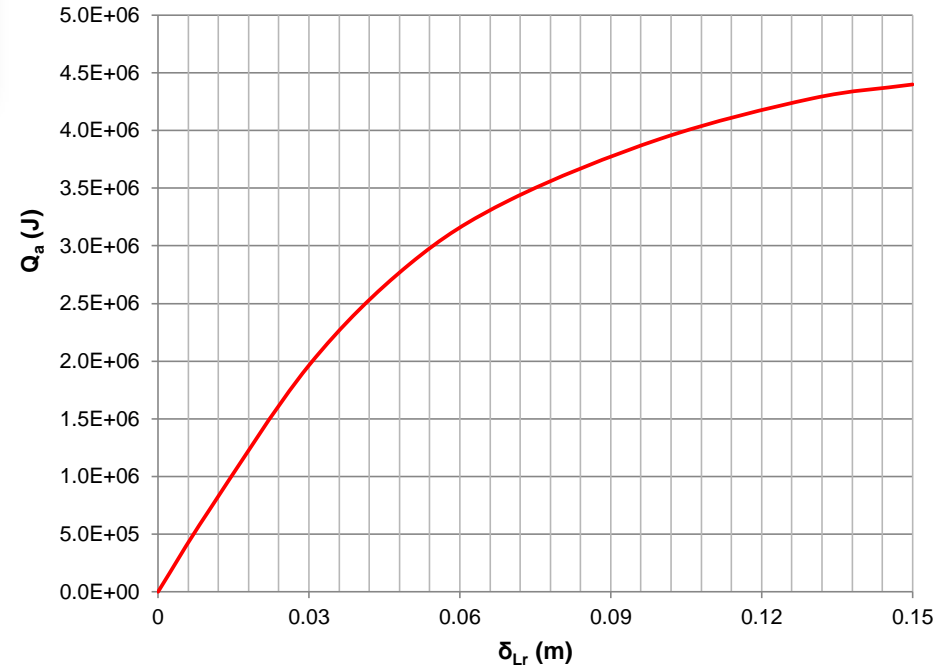
$$q_a = \frac{Q_a}{t_{he}}$$

$$q_a = \frac{2.84E^6}{4 * 3600}$$

$$q_a = 197.22 W$$

38 % de la energía
requerida

Q_a vs δ_{Lr}



INCLINACIÓN DEL COLECTOR

$$\beta(n) \approx |\varphi - \delta(n)| \quad \delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)$$

Mes	n, para i Día típico del mes	Fecha	(n), día del año	(δ), Declinación
Enero	i	17	17	-20.9
Febrero	31+i	16	47	-13
Marzo	59+i	16	75	-2.4
Abril	90+i	15	105	9.4
Mayo	120+i	15	135	18.8
Junio	151+i	11	162	23.1
Julio	181+i	17	198	21.2
Agosto	212+i	16	228	13.5
Septiembre	243+i	15	258	2.2
Octubre	273+i	15	288	-9.6
Noviembre	304+i	14	318	-18.9
Diciembre	334+i	10	344	-23

Mes	Latitud (φ)	Declinación (δ)	Inclinación (β)	Inclinación absoluta (β)
Enero	0.583	-20.9	21.483	21.48
Febrero	0.583	-13	13.58	13.58
Marzo	0.583	-2.4	2.98	2.98
Abril	0.583	9.4	-8.82	8.82
Mayo	0.583	18.8	-18.22	18.22
Junio	0.583	23.1	-22.52	22.52
Julio	0.583	21.2	-20.62	20.62
Agosto	0.583	13.5	-12.92	12.92
Septiembre	0.583	2.2	-1.62	1.62
Octubre	0.583	-9.6	10.18	10.18
Noviembre	0.583	-18.9	19.48	19.48
Diciembre	0.583	-23	23.58	23.58
			Promedio	14.67

Fuente: (DUFFIE, 1980)

Diseño detallado del sistema integrado colector-almacenador

Dimensiones	2 x 0.6 x 0.1 m
Area de colección	1.2 m ²
Placa absorbente	Lecho de rocas pintadas de negro
Material de aislamiento	Poliestireno expandido
Espesor del aislamiento	0.10 m
Espesor de la cubierta de vidrio	4 mm
Espacio entre la cubierta de vidrio	0.05 m
Angulo de inclinación	15°
Orientación	Sur-Norte



CONSIDERACIONES PARA LAS CAÍDAS DE PRESIÓN

Se considera que el aire se comporta como un fluido incomprensible

Los cambios de densidad son despreciables

Densidad máxima

$$\rho_{cl} = 0.98 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad mínima

$$\rho_{Lají} = 0.93 \frac{kg}{m^3}$$

Desviación porcentual = 5%

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma RTm}{M}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{1.4 * 8.31 * 311.5}{0.029}} = 353.59 \frac{m}{s}$$

$$Ma = \frac{v}{v_s} = \frac{0.51}{353.59} = 1.4E^{-3} < 0.3$$



CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA

$$P_{chi} = \Delta P_{Lají} + \Delta P_{cl} + \Delta P_{chi} + \Delta P_{re} + \Delta P_{rchi} - \Delta B_{si}$$

Caída de presión en el colector

$$\Delta P_{cl} = \frac{f_{cl} * \rho_{aTm} * L * P_{ecl}}{A_{scl}} * v_{cl}^2 \quad \Delta P_{cl} = \frac{64 * 0.982 * 2 * (0.6 + 0.05)}{2399 * 0.6 * 0.05} * 0.51^2$$

$$\Delta P_{cl} = \frac{f_{cl} * \rho_{aTm} * L * (w + \alpha)}{w * \alpha} * v_{cl}^2 \quad \Delta P_{cl} = 0.29 Pa$$

Factor de fricción para el colector

$$f_{cl} = \frac{64}{Re_{cl}}$$

Densidad del aire

$$\rho_{aTm(101.3 kPa)} = 350.929 * T_m^{-0.9988}$$

$$\rho_{aTm(101.3 kPa)} = 350.929 * (311.5)^{-0.9988}$$

$$\rho_{aTm(101.3 kPa)} = 1.134 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{aTm(87.7 kPa)} = \frac{P_{(87.7 kPa)}}{P_{(101.3 kPa)}} * \rho_{aTm(101.3 kPa)}$$

$$\rho_{aTm(87.7 kPa)} = 0.982 \frac{kg}{m^3}$$

Velocidad del aire en el colector

$$v_{cl} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aTm} * a * w}$$

$$v_{cl} = \frac{0.015}{0.982 * 0.05 * 0.6}$$

$$v_{cl} = 0.51 \frac{m}{s}$$



CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA

$$P_{chi} = \Delta P_{Laji} + \Delta P_{cl} + \Delta P_{chi} + \Delta P_{re} + \Delta P_{rchi} - \Delta B_{si}$$

Caída de presión en el lecho de ají

$$\Delta P_{Laji} = \frac{\delta_{Laji} * Re_{Laji} * \mu_{Ti}^2}{\rho_{aTi} * \phi_{aji}^3} * \frac{(1 - \varepsilon_{Laji})^4}{\varepsilon_{Laji}^3} \left[1.24 \frac{Re_{Laji}}{(1 - \varepsilon_{Laji})} + 368 \right]$$

$$\Delta P_{aji} = \frac{4 * 0.045 * 41.66 * (2E^{-5})^2}{0.933 * 0.02^3} * \frac{(1 - 0.33)^2}{0.33^3} \left[1.24 \frac{41.66}{(1 - 0.33)} + 368 \right]$$

$$\Delta P_{aji} = 3.7 Pa$$

Reynolds del lecho de ají

$$Re_{Laji} = \frac{m_{aire} * \phi_{aji}}{A_{Laji} * \mu_{Ti}}$$

$$A_{Laji} = B_{cs} * D_{cs} * \varepsilon_{Laji}$$

$$Re_{Laji} = \frac{0.015 * 0.02}{0.6 * 1.2 * 0.50 * 2E^{-5}}$$

$$Re_{Laji} = 41.66$$

Viscosidad dinámica a Ti

$$\mu_{Ti} = \frac{(1.4676E^{-6} * (T_i)^{\frac{3}{2}})}{107.87 + T_i}$$

$$\mu_{Ti} = \frac{(1.4676E^{-6} * (328)^{\frac{3}{2}})}{107.87 + 328}$$

$$\mu_{Ti} = 2E^{-5} \frac{N s}{m^2}$$

Densidad del ají a Ti

$$\rho_{aTi}(87.7 kPa) = 0.933 \frac{kg}{m^3}$$



CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA

Caída de presión en la chimenea

$$\Delta P_{chi} = \frac{f_{chi} * \rho_{aTi} * h_{chi} * P_{e_{chi}}}{A_{f_{chi}}} * v_{chi}^2$$

$$\Delta P_{chi} = \frac{4 * f_{chi} * \rho_{aTi} * h_{chi}}{\phi_{chi}} * v_{chi}^2$$

Reynolds en la chimenea

$$Re_{chi} = \frac{4 * \dot{m}_{aire}}{\pi * \phi_{chi} * \mu_{Ti}}$$

$$Re_{chi} = \frac{4 * 0.015}{\pi * 0.15 * 2E^{-5}}$$

$$Re_{chi} = 6366.20$$

Factor de fricción en la chimenea

$$f_{chi} = 0.316 * (Re_{chi})^{-\frac{1}{4}}$$

$$f_{chi} = 0.316 * (6366.20)^{-\frac{1}{4}}$$

$$f_{chi} = 0.035$$

Velocidad en la chimenea

$$v_{chi} = \frac{4 * \dot{m}_{aire}}{\rho_{aTi} * \pi * \phi_{chi}^2}$$

$$v_{chi} = \frac{4 * 0.015}{0.933 * \pi * 0.15^2}$$

$$v_{chi} = 0.9 \frac{m}{s}$$



CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA

Caída de presión en la chimenea

$$\Delta P_{chi} = \frac{f_{chi} * \rho_{aTi} * h_{chi} * P_{echi}}{A_{fchi}} * v_{chi}^2$$

$$\Delta P_{chi} = \frac{4 * f_{chi} * \rho_{aTi} * h_{chi}}{\phi_{chi}} * v_{chi}^2$$

Reynolds en la chimenea

$$Re_{chi} = \frac{4 * \dot{m}_{aire}}{\pi * \phi_{chi} * \mu_{Ti}}$$

$$Re_{chi} = \frac{4 * 0.015}{\pi * 0.15 * 2E^{-5}}$$

$$Re_{chi} = 6366.20$$

Factor de fricción en la chimenea

$$f_{chi} = 0.316 * (Re_{chi})^{-\frac{1}{4}}$$

$$f_{chi} = 0.316 * (6366.20)^{-\frac{1}{4}}$$

$$f_{chi} = 0.035$$

Velocidad en la chimenea

$$v_{chi} = \frac{4 * \dot{m}_{aire}}{\rho_{aTi} * \pi * \phi_{chi}^2}$$

$$v_{chi} = \frac{4 * 0.015}{0.933 * \pi * 0.15^2}$$

$$v_{chi} = 0.9 \frac{m}{s}$$

Caída de presión en la malla

$$\Delta P_{re} = 0.10 * \Delta P_{ají}$$

$$\Delta P_{re} = 0.37 Pa$$



CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA

Caída de presión en la reducción de la chimenea

$$\Delta P_{rchi} = k_{chi} * \frac{v_{chi}^2}{2}$$

$$\Delta P_{rchi} = 0.04 * \frac{0.9^2}{2}$$

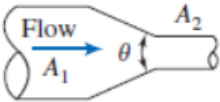
$$\Delta P_{rchi} = 0.016 Pa$$

$$\frac{\pi * \frac{\phi_{chi}^2}{4}}{B_{cs} * P_{cs}}$$

$$\frac{\pi * \frac{0.15^2}{4}}{0.6 * 1.2}$$

$$0.025$$

Loss Coefficients (K) for Gradual Contractions: Round and Rectangular Ducts

	A_2/A_1	Included Angle, θ , Degrees						
		10	15-40	50-60	90	120	150	180
	0.50	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
	0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
	0.10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Note: Coefficients are based on $h_L = K(\bar{V}_2^2/2)$.

Source: Data from ASHRAE [12].



CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA

Presión de empuje en el sistema

$$F_{Bsi} = \rho_{\tau m} * g * \beta t_{\tau m} * (T_u - T_a)$$

$$F_{Bsi} = 0.982 * 9.8 * \frac{1}{311.5} * (330 - 293)$$

$$F_{Bsi} = 1.14 \frac{N}{m^3}$$

$$\Delta B_{si} = \frac{F_{Bsi} * V_{cs}}{A_{Lg}}$$

$$\Delta B_{si} = \frac{1.14 * (0.6 * 1.2 * 1.10)}{(0.6 * 1.2)}$$

$$\Delta B_{si} = 1.26 Pa$$

Tiro de la chimenea

$$\rho_{ari} * g * H_{chi} = 3.7 + 0.29 + 0.70 * H_{chi} + 0.37 + 0.016 - 1.26$$

$$H_{chi} = \frac{3.7 + 0.29 + 0.37 + 0.016 - 1.26}{0.933 * 9.8 - 0.7}$$

$$H_{chi} = 0.37 m$$

$$H_{chi} \approx 0.40 m$$



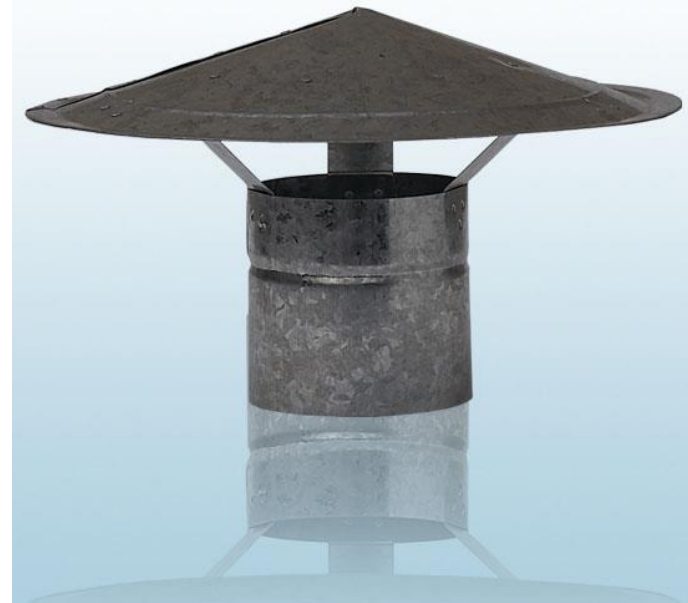
SEPARACIÓN DE LA CHIMENEA AL SOMBRETERO

Separación de la chimenea

$$H_{sca} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{Ta} * v_{chi} * \phi_{chi}}$$

$$H_{sca} = \frac{0.015}{1.044 * 0.9 * 0.15}$$

$$H_{sca} = 0.10 \text{ m}$$



DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE SECADO

	Criterio de evaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ	%	W.F.
1	Resistencia a la fluencia		1	0.5	1	1	1	1	1	2	8.5	0.20	0.20
2	Resistencia a la ruptura			0	1	1	1	1	1	2	7	0.16	0.16
3	Ductilidad	0.5			1	1	1	1	1	2	7.5	0.17	0.17
4	Resistencia a la corrosión					1	1	1	1	2	6	0.14	0.14
5	Costo						0.5	1	1	2	4.5	0.10	0.10
6	Material comercial					0.5		1	1	2	4.5	0.10	0.10
7	Soldabilidad								0.5	2	2.5	0.06	0.06
8	Maquinabilidad							0.5		2	2.5	0.06	0.06
											43	1.00	1.00

Material estructural		A36			A 572 Gr. 50		A588	
Criterio de evaluación	W.F.	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2	R.F.	Calif.3	
1 Resistencia a la fluencia	0.20	7	1.38	8	1.58	9	1.78	
2 Resistencia a la ruptura	0.16	9	1.47	7	1.14	6	0.98	
3 Ductilidad	0.17	9	1.57	4	0.70	9	1.57	
4 Resistencia a la corrosión	0.14	7	0.98	5	0.70	8	1.12	
5 Costo	0.10	10	1.05	3	0.31	3	0.31	
6 Material comercial	0.10	10	1.05	6	0.63	1	0.10	
7 Soldabilidad	0.06	10	0.58	5	0.29	8	0.47	
8 Maquinabilidad	0.06	8	0.47	6	0.35	7	0.41	
	1.00		8.53		5.70		6.73	



ESTRUCTURA DEL SOPORTE DEL COLECTOR

Cargas muertas	
Peso propio	200 kg
Peso de las piedras	129 kg
Total carga muerta	329 kg
Cargas vivas	
Carga de apoyo lateral	20 kg
Total carga vivas	20 kg
Carga de viento	
Viento	30kg/m ²

Módulo de la sección plástica

$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{0.9 * F_y} \quad Z_{req} = \frac{440.02}{0.9 * 248 E^6}$$

$$Z_{req} = 2E^{-6} m^3 \longrightarrow 5.4E-6 m^3$$

Momento y cortante de diseño

$$M_{max} = \frac{Q_d * l^2}{8} \quad M_{max} = 440.02 N * m$$

$$V_{max} = \frac{Q_d * l}{2} \quad V_{max} = 880.04 N$$

Carga de diseño

$$Q_d = 1.2 * D_c + 1.3 * W_c$$

$$Q_d = 1.2 * 627.2 + 1.3 * 98$$

$$Q_d = 880.04 \frac{N}{m}$$

Estado límite de fluencia

$$M_p = F_y * Z_{req} \geq M_{max}$$

$$M_p = 248 E^6 * 5.4 E^{-6} \geq 440.02 N m$$

$$M_p = 1339.2 N m \geq 440.02 N m$$

Pandeo Local del alma

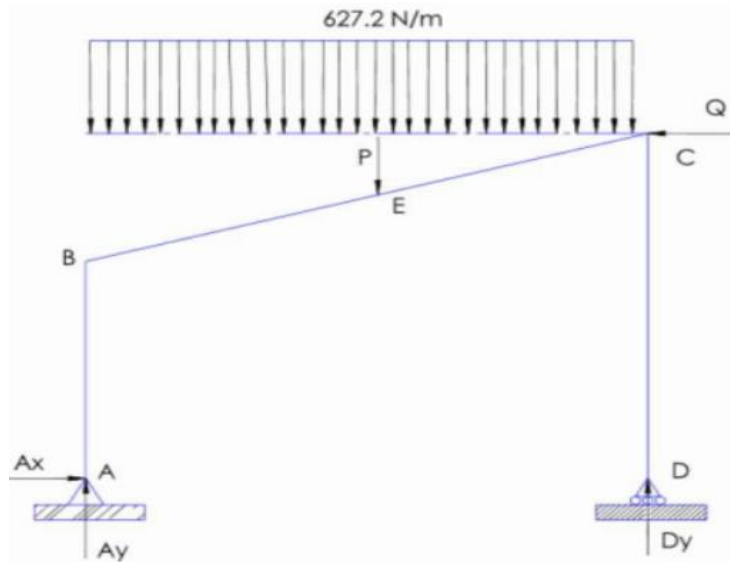
$$M_n = F_y * S_c * \left(2.43 - 1.72 * \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \geq M_{max}$$

$$M_n = 1792.28 N m \geq 440.02 N m$$



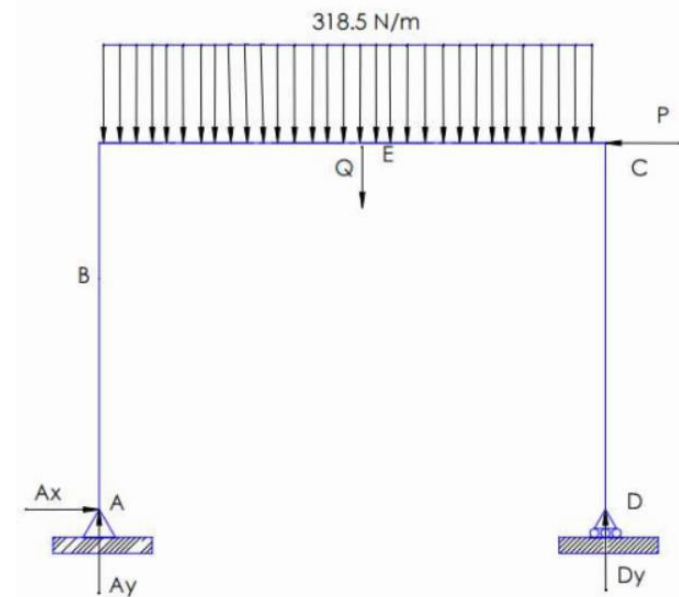
ESTUDIO POR RIGIDEZ

$$\Delta P = \frac{\partial U}{\partial P} = \frac{\partial}{\partial P} \left[\int \frac{N^2}{2AE} dx + \int \frac{M^2}{2EI} dx + \int \frac{V^2}{2GA} dx + \int \frac{T^2}{2GJ} dx \right]$$



$\Delta E = 2.145 \text{ E-5 (m)}$

$\Delta C = 2.509 \text{ E-4 (m)}$

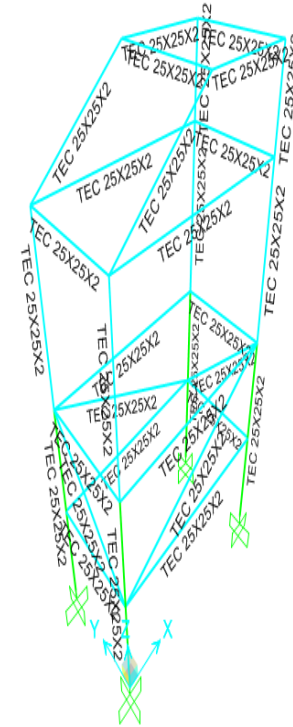
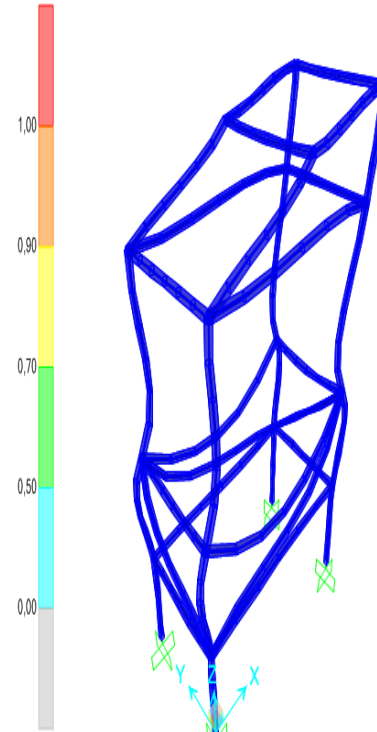
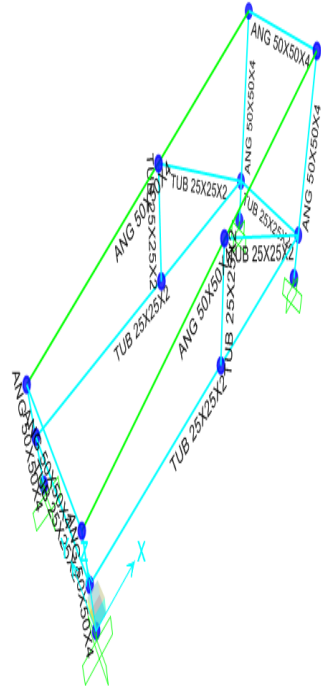
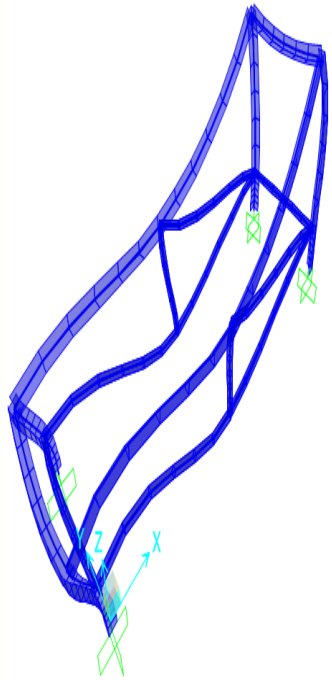


$\Delta E = 0.105 \text{ (m)}$

$\Delta C = 0.08 \text{ (m)}$



SIMULACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA



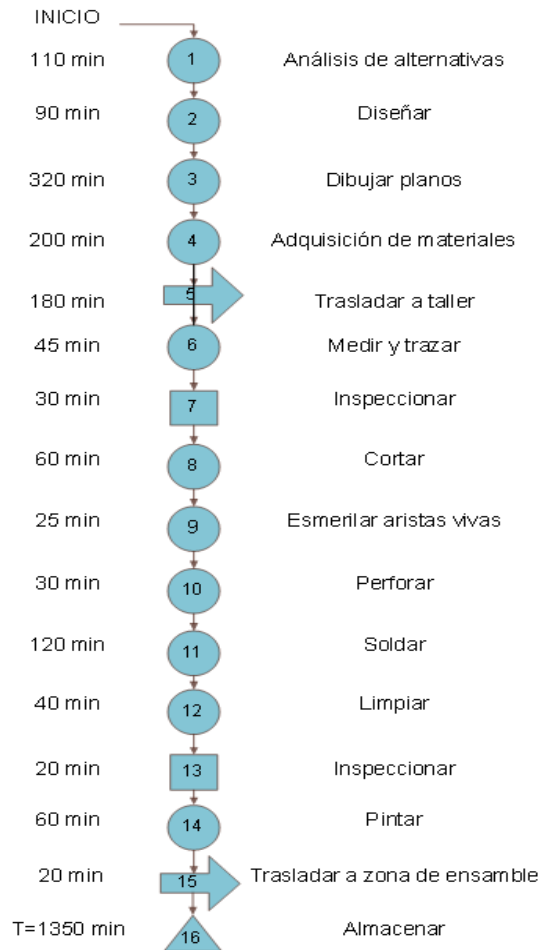
CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SECADO

D.P del bastidor del colector



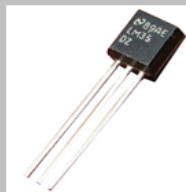
Nº 1		Hoja de Proceso			Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE																																																																																																																																																																																																																												
A	Escolar	Material	Dimensiones en bruto	Medida sin tolerancia	Grado de Precisión	Medidas Nominales																																																																																																																																																																																																																											
	320	ASTM A36	4000x2000x800 mm 2000x1200 mm	± mm 2 mm		L	S	Ø	R	Ø	S	Ø	S	Ø																																																																																																																																																																																																																			
DETALLE E																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">D</th> <th rowspan="2">Fase</th> <th rowspan="2">Sub Fase</th> <th rowspan="2">Ort</th> <th rowspan="2">Designación</th> <th rowspan="2">Croquis</th> <th rowspan="2">UNE</th> <th rowspan="2">Cont.</th> <th rowspan="2">No. Pos.</th> <th rowspan="2">V. (m/m)</th> <th rowspan="2">R. (m/m)</th> <th rowspan="2">A. (m/m)</th> <th rowspan="2">S. (m/m)</th> <th rowspan="2">P. (m)</th> <th rowspan="2">T. (seg)</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">D</td> <td rowspan="3">1</td> <td rowspan="3">1.1</td> <td rowspan="3">1</td> <td>Verificar medidas</td> <td></td> <td></td> <td>Flex</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Cortar tubo cuadrado de 50x50x4 mm</td> <td></td> <td>Heco</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7200</td> </tr> <tr> <td>Eliminar aristas vivas</td> <td></td> <td>Heco</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2200</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">D</td> <td rowspan="3">2</td> <td rowspan="3">2.1</td> <td rowspan="3">2</td> <td>Verificar medidas</td> <td></td> <td></td> <td>Flex</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Soldadura</td> <td></td> <td>Secta</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7200</td> </tr> <tr> <td>Limpieza</td> <td></td> <td>Secta</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2400</td> </tr> <tr> <td rowspan="7">E</td> <td rowspan="7">3</td> <td rowspan="7">3.1</td> <td rowspan="7">3</td> <td>Verificar medidas</td> <td></td> <td></td> <td>Flex</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Corte de platinas 1</td> <td></td> <td>Heco</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3600</td> </tr> <tr> <td>Eliminar aristas vivas</td> <td></td> <td>Heco</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>Trasladar en 2</td> <td></td> <td>Heco</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>Verificar medidas</td> <td></td> <td></td> <td>Flex</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Esmerilar</td> <td></td> <td>Flex</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Soldar en 3</td> <td></td> <td>Secta</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>Eliminar aristas vivas</td> <td></td> <td>Heco</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2700</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Verificar medidas</td> <td></td> <td></td> <td>Flex</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td colspan="12" style="text-align: right;"> <table border="1"> <tr> <td>Seg</td> <td>Min</td> <td>Seg</td> <td>Min</td> <td>TOTAL</td> <td>IC</td> <td>IE</td> <td>IE=0</td> <td>Costo</td> <td>20000</td> </tr> </table> </td> </tr> </tbody> </table>												D	Fase	Sub Fase	Ort	Designación	Croquis	UNE	Cont.	No. Pos.	V. (m/m)	R. (m/m)	A. (m/m)	S. (m/m)	P. (m)	T. (seg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	D	1	1.1	1	Verificar medidas			Flex							300	Cortar tubo cuadrado de 50x50x4 mm		Heco							7200	Eliminar aristas vivas		Heco							2200	D	2	2.1	2	Verificar medidas			Flex						300	Soldadura		Secta							7200	Limpieza		Secta							2400	E	3	3.1	3	Verificar medidas			Flex						300	Corte de platinas 1		Heco							3600	Eliminar aristas vivas		Heco							4000	Trasladar en 2		Heco							4000	Verificar medidas			Flex						300	Esmerilar		Flex							300	Soldar en 3		Secta							4000	Eliminar aristas vivas		Heco							2700					Verificar medidas			Flex						300	<table border="1"> <tr> <td>Seg</td> <td>Min</td> <td>Seg</td> <td>Min</td> <td>TOTAL</td> <td>IC</td> <td>IE</td> <td>IE=0</td> <td>Costo</td> <td>20000</td> </tr> </table>												Seg	Min	Seg	Min	TOTAL	IC	IE	IE=0	Costo	20000
D	Fase	Sub Fase	Ort	Designación	Croquis	UNE	Cont.	No. Pos.	V. (m/m)	R. (m/m)	A. (m/m)																S. (m/m)	P. (m)	T. (seg)																																																																																																																																																																																																				
												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																												
D	1	1.1	1	Verificar medidas			Flex							300																																																																																																																																																																																																																			
				Cortar tubo cuadrado de 50x50x4 mm		Heco							7200																																																																																																																																																																																																																				
				Eliminar aristas vivas		Heco							2200																																																																																																																																																																																																																				
D	2	2.1	2	Verificar medidas			Flex						300																																																																																																																																																																																																																				
				Soldadura		Secta							7200																																																																																																																																																																																																																				
				Limpieza		Secta							2400																																																																																																																																																																																																																				
E	3	3.1	3	Verificar medidas			Flex						300																																																																																																																																																																																																																				
				Corte de platinas 1		Heco							3600																																																																																																																																																																																																																				
				Eliminar aristas vivas		Heco							4000																																																																																																																																																																																																																				
				Trasladar en 2		Heco							4000																																																																																																																																																																																																																				
				Verificar medidas			Flex						300																																																																																																																																																																																																																				
				Esmerilar		Flex							300																																																																																																																																																																																																																				
				Soldar en 3		Secta							4000																																																																																																																																																																																																																				
Eliminar aristas vivas		Heco							2700																																																																																																																																																																																																																								
				Verificar medidas			Flex						300																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Seg</td> <td>Min</td> <td>Seg</td> <td>Min</td> <td>TOTAL</td> <td>IC</td> <td>IE</td> <td>IE=0</td> <td>Costo</td> <td>20000</td> </tr> </table>												Seg	Min	Seg	Min	TOTAL	IC	IE	IE=0	Costo	20000																																																																																																																																																																																																												
Seg	Min	Seg	Min	TOTAL	IC	IE	IE=0	Costo	20000																																																																																																																																																																																																																								



INSTRUMENTACIÓN

Características del LM35

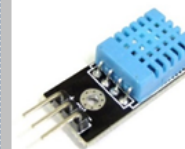
Rango de medición	-55 a 150 °C
Voltaje de alimentación	5 V
Voltaje de salida	6 V
Corriente de salida	10 mA
Factor de linealidad	+ 10 mV/°C
Resolución	±1/4 °C



Fuente: (Trotejant, 2015)

Características del DHT-11

Rango de medición	20 a 95 % HR
Rango de temperatura	0 a 50 °C
Voltaje de alimentación	5 V
Precisión	±5 % HR



Fuente: (SIGMA Electrónica Ltda, 2015)

Características del CR2032

Rango de medición	0 a 30 m/s
Rango de temperatura	-10 a 45 °C
Resolución	0.1 m/s
Precisión	±5 %
Humedad máxima de operación	±90 %
Voltaje de alimentación	5 VDC



Fuente: (OLX, 2015)

Características de la balanza digital

Rango de medición	0.01 a 300 g
Resolución	0.01 g
Temperatura de operación	10 a 30 °C
Precisión	±0.02 g
Voltaje de alimentación	2 baterías AAA



Fuente : (OLX, 2015)

Características del piranómetro

Rango de medición	0 a 1200 W/m ²
Temperatura de operación	-40 a 80 °C
Sensibilidad nominal	68.9 mV/ W/m ²
Salida	0-100 mV



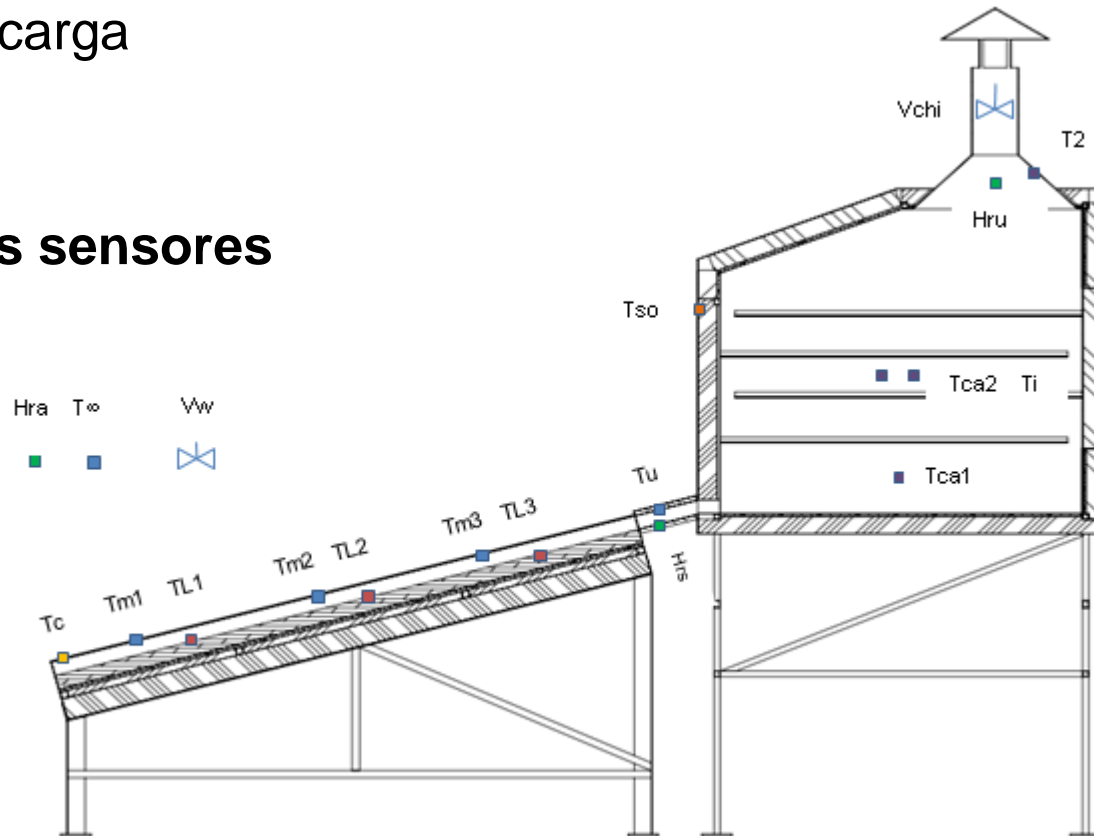
Fuente : (Sensovant, 2015)



PROTOCOLO DE PRUEBAS

- Prueba en vacío
- Prueba con carga

Ubicación de los sensores



RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Prueba en vacío

Temperaturas y humedades del sistema de secado										
Tiemp	T ∞	Tm	Tcam	TL	Ti	Hra	Hrs	Hru	Tu	T2
(h)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(%)	(%)	(°C)	(°C)
8	17.48	21.78	21.97	30.21	21.99	43.55	34.70	40.44	25.05	19.10
9	19.82	28.95	30.50	41.15	30.34	36.53	30.05	32.60	30.35	28.40
10	19.86	29.00	31.89	40.57	31.74	35.90	29.75	31.21	30.95	29.40
11	20.09	31.54	34.00	45.08	33.79	32.55	27.90	29.95	33.60	31.20
12	21.42	33.59	36.58	49.08	36.40	31.25	26.80	28.65	35.80	34.00
13	21.82	29.30	32.35	42.95	32.19	34.72	29.10	31.23	32.91	29.99
14	21.31	30.04	33.06	41.75	32.92	31.05	28.35	30.40	31.65	30.45
15	20.57	27.71	31.59	36.60	31.40	34.53	29.85	31.35	28.25	29.40
16	18.71	21.69	26.07	29.10	25.92	48.42	33.25	35.53	23.00	24.30
17	14.28	19.12	21.30	25.68	21.24	68.00	36.05	40.12	19.35	20.55
18	12.79	18.06	19.89	25.04	19.79	81.83	36.78	41.58	19.33	19.04
19	11.45	18.63	19.00	24.97	18.88	82.00	35.45	41.00	18.68	17.55

Radiación y velocidad en la prueba de vacío		
Tiemp	Vw	I
(h)	m/s	(W/m ²)
8	0.3	452.17
9	0.7	620.44
10	0.7	658.60
11	0.7	730.00
12	0.8	579.39
13	0.7	432.35
14	0.7	613.21
15	0.7	372.81
16	0.5	113.00
17	0.3	54.20
18	0.2	12.80
19	0.2	0.00

Prueba con carga

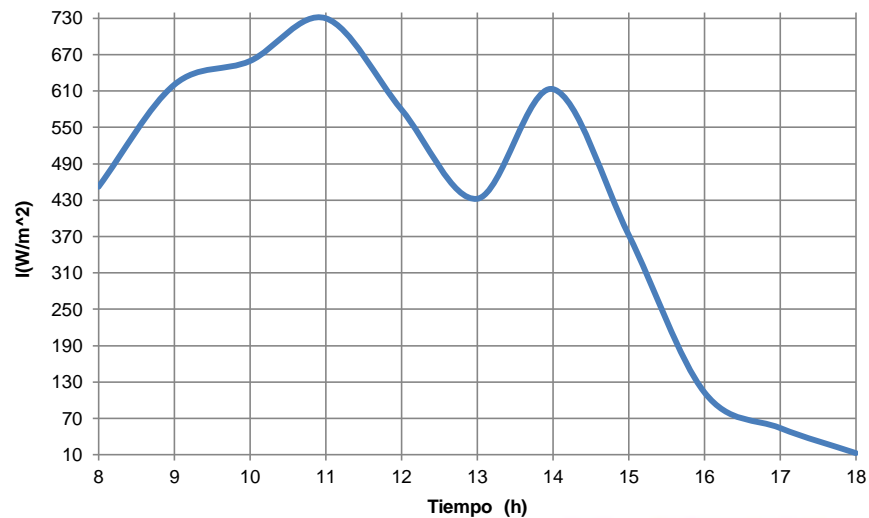
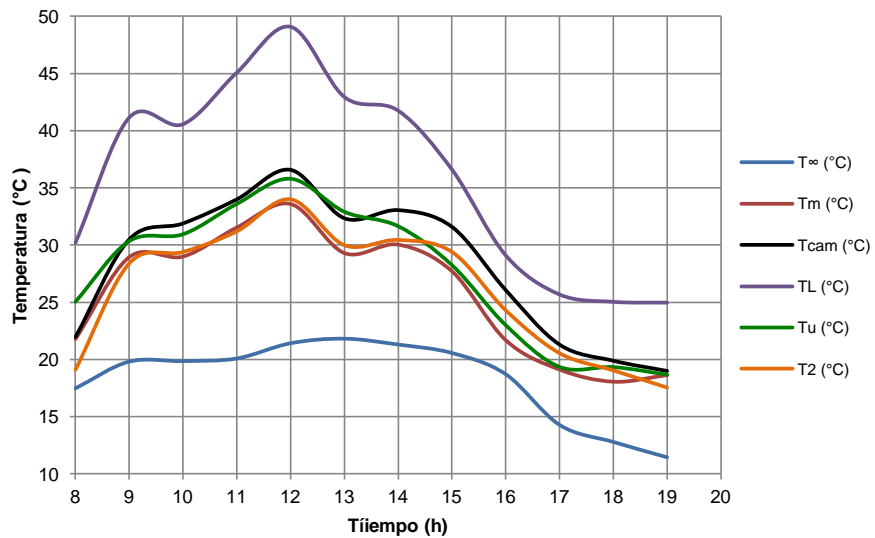
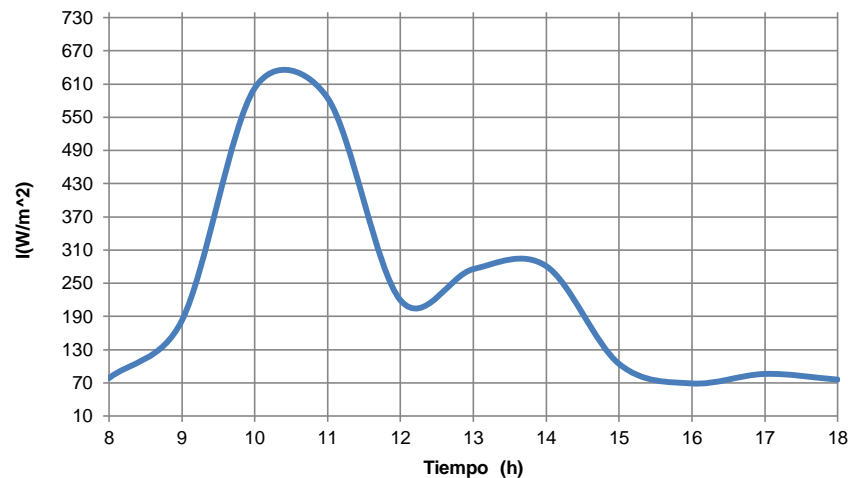
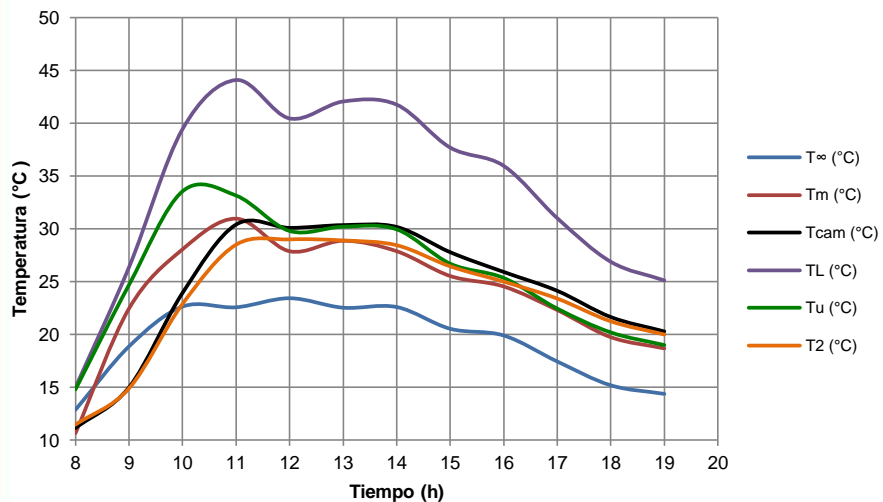
Temperaturas y humedades del sistema de secado										
Tiempo	T ∞	Tm	Tcam	TL	Ti	Hra	Hrs	Hru	Tu	T2
(h)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(%)	(%)	(°C)	(°C)
8	16.86	24.34	17.62	26.23	18.62	40.59	36.33	48.76	24.07	14.00
9	21.68	31.37	27.02	37.02	25.65	36.39	32.22	37.82	31.61	20.00
10	21.96	36.53	30.33	46.02	31.53	33.61	28.83	33.40	36.78	26.00
11	22.37	38.34	33.48	50.23	34.75	32.47	27.39	30.83	38.78	29.00
12	23.67	39.60	34.61	52.52	35.84	32.67	27.06	30.39	40.44	29.00
13	24.07	41.19	36.53	56.05	38.09	31.53	26.29	29.94	41.65	31.00
14	24.32	40.52	37.47	56.26	39.07	29.67	26.00	29.00	40.78	33.00
15	24.09	36.65	35.60	50.89	37.11	28.89	26.56	29.00	37.17	34.00
16	23.50	30.92	33.03	43.20	33.36	30.61	28.56	29.89	31.28	32.00
17	22.44	25.90	29.96	35.21	28.91	34.94	31.00	32.22	25.44	27.00
18	16.95	20.63	25.77	27.96	22.74	39.24	33.22	34.72	21.17	24.00
19	15.01	17.99	20.63	23.65	19.41	40.00	34.59	36.29	18.47	20.00
20	13.74	18.26	20.56	22.21	17.62	41.65	35.94	38.35	18.61	18.00

Radiación y velocidad		
Tiempo	Vw	I
(h)	m/s	(W/ m ²)
8	0.3	509.56
9	0.6	655.18
10	0.7	788.27
11	0.7	817.79
12	0.7	601.15
13	0.8	689.00
14	0.8	636.87
15	0.8	464.27
16	0.7	121.03
17	0.6	587.01
18	0.5	0.00
19	0.4	0.00
20	0.3	0.00



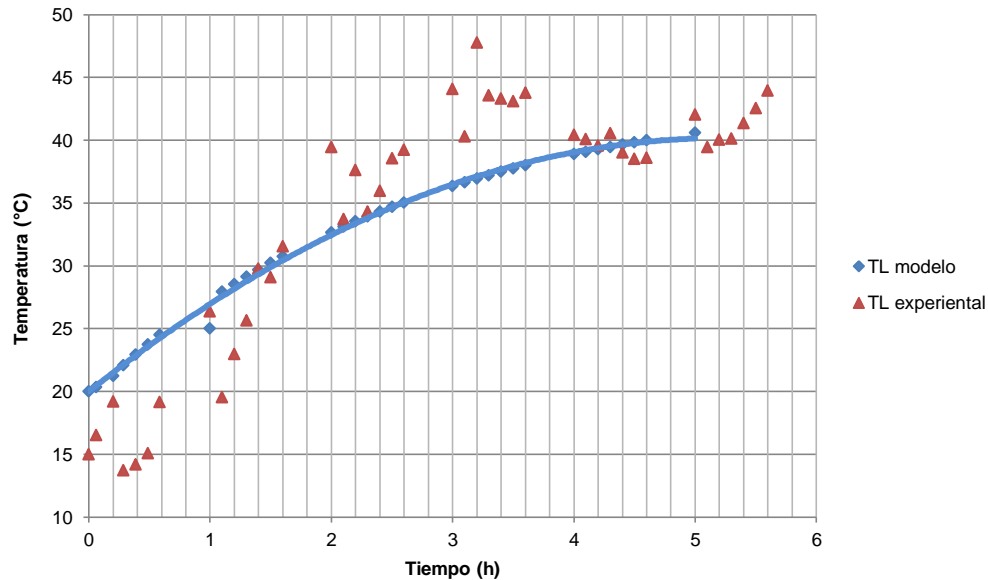
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Prueba en vacío



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Prueba en vacío



$$\eta_{cl} = 32.52 \%$$

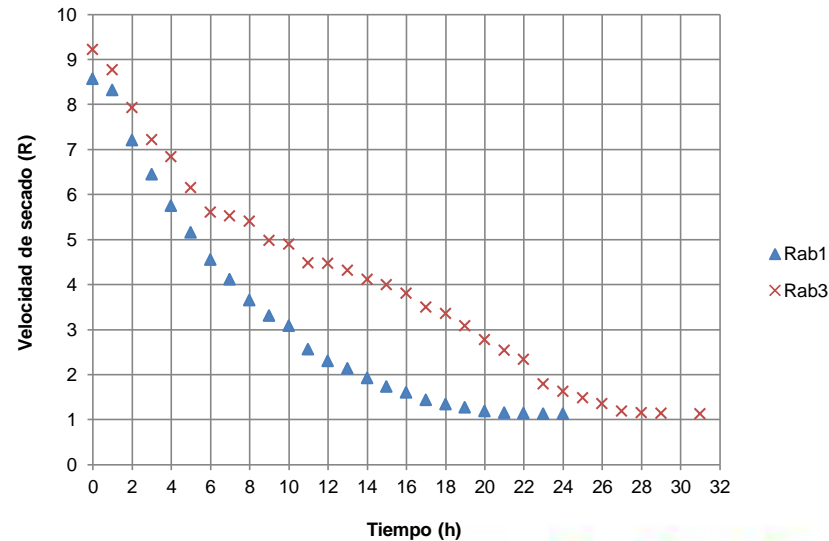
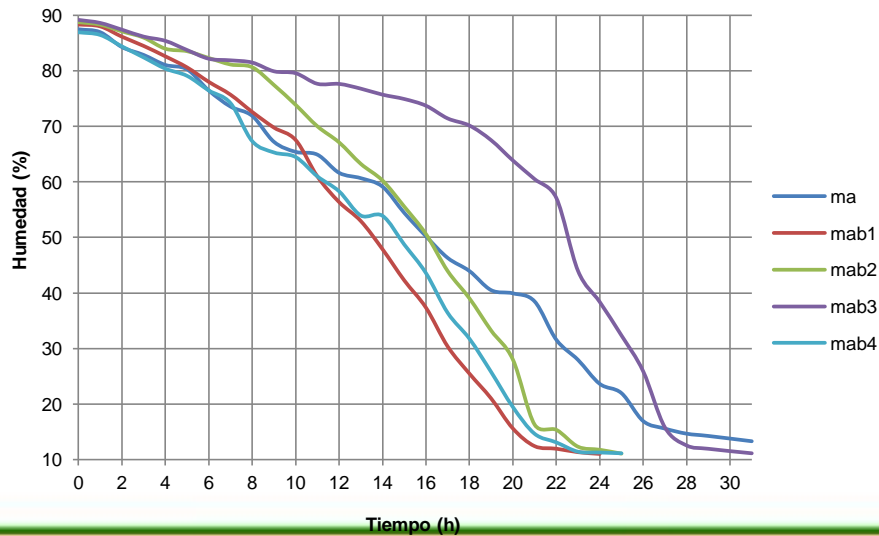
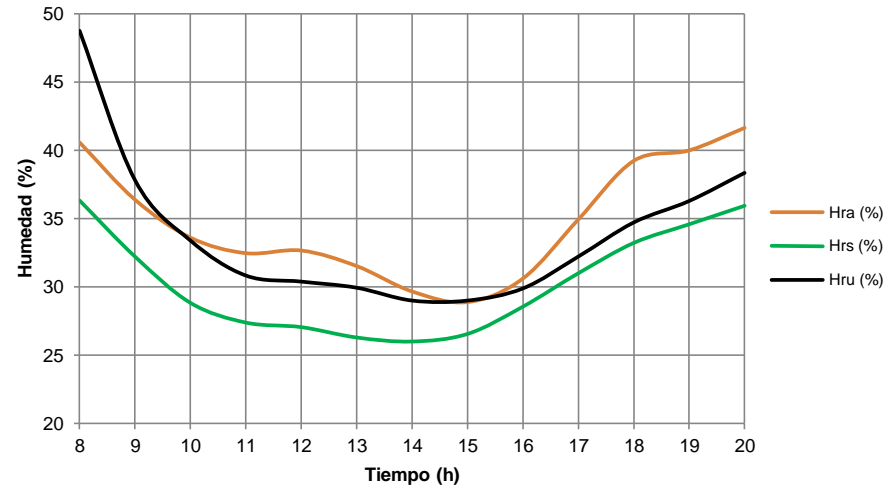
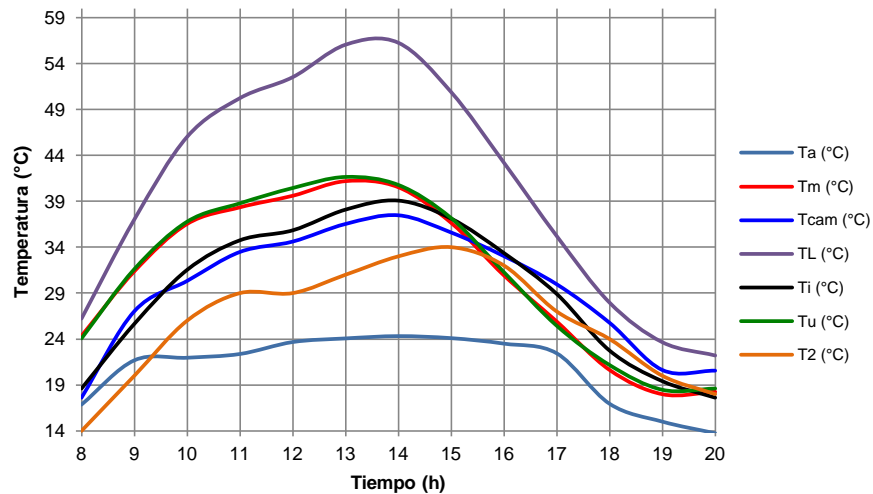
Radiación promedio de $327 \frac{W}{m^2}$

Temperaturas promedio de la prueba en vacío	
T_{∞}	18.86 (°C)
TL	36.02 (°C)
T_m	25.78 (°C)
T_u	30.41 (°C)
T_{cam}	28.18 (°C)



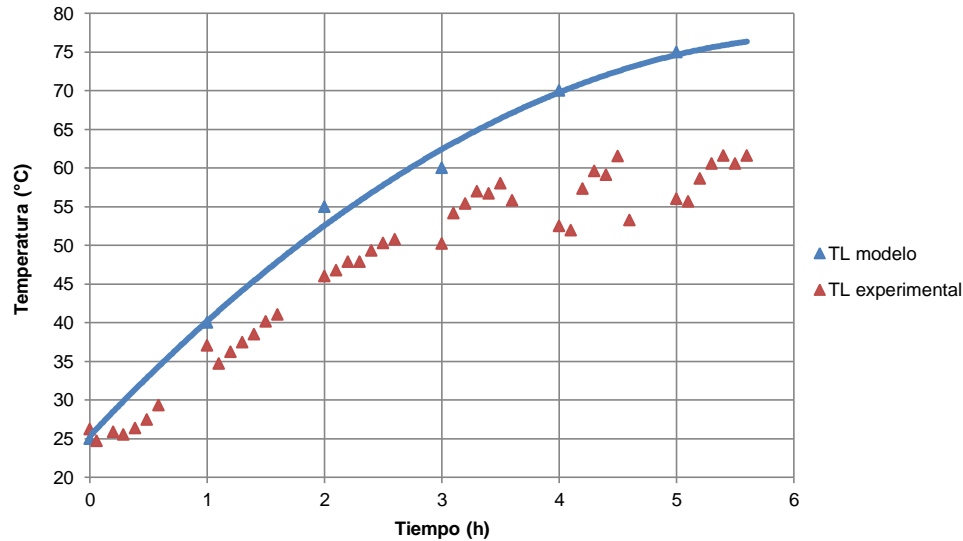
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Prueba con carga



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Prueba con carga



$$\eta_{cl} = 33\%$$
$$\eta_{sc} = 50.33\%$$
$$\eta_{si} = 16.61\%$$

Radiación promedio de $587 \frac{W}{m^2}$

Temperaturas promedio de la prueba en vacío	
T_{∞}	20.82 (°C)
TL	40.57 (°C)
T_m	30.94 (°C)
T_u	31.25 (°C)
T_{cam}	30 (°C)
T2	26 (°C)



ANÁLISIS DE COSTOS

Item	Descripción	Valor total [USD]
1	Valor total de los costos directos de la fabricación	\$ 3,792.08
2	Valor total de los costos indirectos de la fabricación	\$ 2,689.40
3	Valor total de materiales directos para la operación	\$ 393.72
4	Valor total de costos indirectos de la fase de operación	\$ 2,685.00
Valor total de inversión [USD]		\$ 9,563.20



CONCLUSIONES

Se diseño y construyo un prototipo de secador solar para la deshidratación del capsicum annum con las siguientes características:

Colector	2x0.6x0.01 m	Temperatura media del aire	31 °C
Área de colección	1.2 m ²	Temperatura cámara	30 °C
Cámara de secado	1.2x1.1x0.6 m	Temperatura chimenea	26 °C
Capacidad	25 kg	Humedad saturación	49%
Flujo de aire	0.01 kg/s		31.3%
Energía suministrada	105 W		50.3 %
Temperatura del lecho	40.6 °C		16.88 %



CONCLUSIONES

Las bandejas 1,2 y 4 presentan comportamiento similares en la variación de humedad con respecto al tiempo.

La bandeja 3 requiere de 7 horas adicionales para llegar a una humedad del 11 %.

Durante el proceso de secado se tuvo un gradiente de temperatura de 15 °C, entre la temperatura media del aire y la ambiente.

La masa total de aire para el secado fue de 1544 kg.

El capital necesario para la fabricación es de \$9563 y el valor de producción sería el 40% del valor total.



RECOMENDACIONES

El mantenimiento y operación del secador se lo debe realizar siguiendo el manual de usuario.

Para obtener un secado homogéneo y reducir el tiempo de secado la radiación incida directamente sobre el proceso o que la convección sea forzada.

Se debe realizar un estudio sobre los diferentes materiales capacitivos para lechos de secadores para mejorar la capacidad de almacenamiento.

Estudiar la distribución para que el aire tenga un movimiento perpendicular y transversal en las bandejas.



Gracias por su atención



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA