



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TÍTULO:

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SECADO DE CLICHÉS EN LOS SECADORES ELÉCTRICOS DE LA EMPRESA EVOLUTION FLEX S.A, 2013. TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE UN SECADOR HIBRIDO ELÉCTRICO-SOLAR PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CLICHÉS.

**Autor:** Ing. Cartagena Alvarado Miguel Enrique

**Tutor:** Dr. C. Rodríguez Bárcenas Gustavo

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Julio – 2014**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Cartagena Alvarado Miguel Enrique, con el título de tesis: **“Determinación de la capacidad de secado de clichés en los secadores eléctricos de la empresa Evolution Flex S.A, 2013. Tecnología de fabricación de un secador híbrido eléctrico-solar para incrementar la eficiencia del secado de clichés”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio 2014

Para constancia firman:

.....

MSc. Paulina Freire

PRESIDENTE

.....

MSc. Ernesto Abril

MIEMBRO

.....

PhD. Gustavo Rodríguez

MIEMBRO

.....

PhD. Roberto Sierra

OPOSITOR

## **AVAL DEL TUTOR DE TESIS**

Latacunga, julio del 2014

En mi calidad de Tutor de Tesis presentada por el Ing. Cartagena Alvarado Miguel Enrique, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Determinación de la capacidad de secado de clichés en los secadores eléctricos de la empresa Evolution Flex S.A, 2013. Tecnología de fabricación de un secador híbrido eléctrico-solar para incrementar la eficiencia del secado de clichés”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

Dr. C. Gustavo Rodríguez Bárcenas

**TUTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo, Miguel Enrique Cartagena Alvarado, portador del número de cédula de ciudadanía 0300957123, declaro que el contenido de la presente Tesis de Grado, es original y de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

Miguel Enrique Cartagena Alvarado

C.C. 0300957123

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fortaleza para desarrollar el presente trabajo, a mi esposa Marcia y a mi hija Dayanita por ser tolerantes conmigo durante el tiempo que tuve que ausentarme para la culminación de mis estudios de maestría.

Agradezco a los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a mi tutor Gustavo Rodríguez Bárcenas por ser un amigo y guía del presente trabajo, a los Msc. Gabriel Hernández y Tomás Fernández por sus críticas y recomendaciones, a la empresa Evolution Flex S.A, por darme la oportunidad de desarrollar la investigación y brindarme la información necesaria sobre el proceso de secado de clichés.

A mis familiares, que de una manera u otra siempre están brindándome su apoyo incondicional.

Miguel

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios, por ser mi guía y fortaleza en todos los actos de mi vida, a mi esposa y mi hija, por su paciencia y apoyo, a mis padres (+) y hermanos por haberme enseñado a ser una persona de bien.

Miguel

vi

## **CERTIFICACIÓN DE LOS CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS**

Se refiere al documento emitido por la Dirección de Posgrados en la que consta que el autor de la tesis ha vencido todos las asignaturas del Programa Académico con sus respectivos créditos, y más que se estipula en el Art. 33 del Reglamento General para el desarrollo de los programas de Maestrías.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:** “Determinación de la capacidad de secado de clichés en los secadores eléctricos de la empresa Evolution Flex S.A, 2013. Tecnología de fabricación de un secador híbrido eléctrico-solar para incrementar la eficiencia del secado de clichés”.

**AUTOR:** CARTAGENA ALVARADO Miguel Enrique

**TUTOR:** PhD. RODRÍGUEZ BÁRCENAS Gustavo

**RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza un estudio teórico y experimental al secado de clichés en la Empresa Evolution Flex S.A, con el objetivo de que todo el material cliché a secar en el día de producción se lo realice en el menor tiempo posible, proponiendo como alternativa la tecnología de fabricación de un secador híbrido eléctrico-solar para incrementar la eficiencia energética y la producción de clichés.

Se presenta datos estadísticos que permitieron analizar la situación actual de secado de clichés en la empresa; se muestra también datos obtenidos en las experimentaciones realizadas por el autor en referencia al secado de clichés. Además se presenta y analiza datos obtenidos sobre la radiación solar en Quito.

Los datos obtenidos permitieron analizar y mediante cálculos determinar valores que permiten seleccionar los diferentes materiales y sus características para posteriormente proponer el diseño del secador híbrido que satisfaga la demanda en el proceso de secado en la empresa.

Para corroborar la propuesta de un secador de clichés, se aprovechó la simulación del secador mediante el programa ANSYS V15.0, donde intervienen los materiales con los que se propone construir.

**Palabras Claves:** eficiencia, tecnología, cliché.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:** Determination of the drying capacity of cliches in electric dryers on the Evolution Flex S.A., 2013. Fabrication Technology of electric-solar hybrid dryer to increase efficiency on the drying of the cliches.

**AUTOR:** CARTAGENA ALVARADO Miguel Enrique

**TUTOR:** PhD. RODRÍGUEZ BÁRCENAS Gustavo

**ABSTRACT**

In this paper a theoretical and experimental study is carried for the drying of cliches in the Company Evolution Flex SA. Aiming that all cliche material to be dry on the day of production would take place in the shortest possible time, proposing for that as an alternative technology for manufacturing an electric – solar dryer to increase energy efficiency and the production of clichés.

Statistical data to analyze the current situation of the drying cliches in the Company is present; data obtained in the experiments conducted by the author in reference to the drying clichés is also shown. Besides presents and analyzes data on solar radiation in Quito.

The data obtained allowed to analyze and determine values by calculations for selecting the different materials and their characteristics in order to propose the design of hybrid dryer that meets the demands of the drying process in the Company.

To corroborate the proposed cliches dryer, dryer simulation took place by using the ANSYS V15.0 program, where the materials proposed to be constructed were involved.

Key words: efficiency, technology, cliche.

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS.....	iii
AUTORÍA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
EL PROBLEMA.....	3
1.1 Antecedentes del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objeto de estudio.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5.1 Objetivos generales.....	5
1.5.2 Campo de acción de la investigación.....	5
1.5.3 Objetivos específicos.....	6

1.6 Hipótesis de la investigación.....	6
1.7 Conclusiones del capítulo .....	6
CAPITULO 2 .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación .....	7
2.2 Fundamentación teórica .....	9
2.2.1 Definición de secado .....	10
2.2.2 Mecanismos de transferencia de calor .....	11
2.2.3 Curvas de velocidad de secado .....	12
2.2.4 Plancha fotopolímera para impresión (cliché) .....	15
2.2.5 Materiales y equipos a usar para el secador .....	16
2.2.6 Energía solar.....	25
2.2.7 Energía fotovoltaica .....	30
2.2.8 Energía eléctrica.....	33
2.2.9 Método general para determinar la potencia calórica .....	34
2.2.10 Cálculo de la potencia calórica necesaria para secar cliché.....	34
2.3 Conclusiones del capítulo .....	41
CAPITULO 3 .....	42
METODOLOGÍA .....	42
3.1 Diseño de la investigación .....	42

3.1.1 Modalidad de la investigación .....	42
3.1.2 Tipo de investigación .....	42
3.1.3 Metodología .....	43
3.2 Operacionalización de las variables .....	43
3.3 Población y muestra .....	44
3.4 Delimitación de la zona de estudio .....	44
3.5 Técnicas de investigación y análisis .....	45
3.6 Datos de producción de clichés y secado en EH001 y EH002 .....	46
3.7 Instrumentos utilizados en la experimentación .....	46
3.8 Planificación de la experimentación .....	50
3.9 Datos recopilados de la radiación solar en Quito – Ecuador .....	63
3.10 Método de análisis económico .....	63
3.11 Conclusiones del capítulo .....	64
CAPITULO 4 .....	65
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
4.1 Análisis de la capacidad de los secadores de Evolution Flex S.A. ....	65
4.2 Evaluación de los datos de los experimentos.....	68
4.3 Memoria de cálculo para la tecnología de fabricación del secador .....	73
4.4 Simulación del secador .....	80
4.5 Cálculos para la generación eléctrica a través de la energía solar .....	85

4.6 Prueba de hipótesis.....	87
4.7 Conclusiones del capítulo .....	91
CAPITULO 5 .....	93
PROPUESTA.....	93
5.1 Título de la propuesta.....	93
5.2 Justificación de la propuesta .....	93
5.3 Objetivos de la propuesta.....	94
5.4 Estructura de la propuesta .....	94
5.5 Desarrollo de la propuesta.....	94
5.6 Costo del secador .....	105
5.7 Evaluación socio-económico .....	106
5.7.1 Resultados de la valoración económica de la propuesta de un secador .	106
5.7.2 Valor presente neto (VAN) .....	106
5.7.3 Tasa Interna de retorno (TIR) .....	107
5.8 Evaluación económica .....	108
5.9 Conclusiones del capítulo .....	110
CONCLUSIONES GENERALES .....	111
RECOMENDACIONES .....	113
BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	114
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	115

LINKOGRAFÍA .....	115
ANEXOS .....	116



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza un análisis a las condiciones actuales en las que la empresa Evolution Flex S.A, desarrolla las actividades relacionadas al secado de planchas fotopolímeras (clichés) en los equipos que posee, y así determinar porque la capacidad de los secadores es un problema dentro de la empresa.

En el capítulo 1, se determina y analiza el problema de la investigación, la formulación del problema, la justificación y se enuncian los objetivos generales y específicos.

En el capítulo 2, Marco Teórico, se plantea los antecedentes de la investigación relacionados a los procesos de secado, tipos de secadores, ecuaciones que permiten calcular el calor requerido, materiales que para la construcción como: resistencias eléctricas, materiales aislantes térmicos; además se plantea temas relacionados a la energía solar como: sistemas de captación de radiación solar, equipos generadores de energía térmica, inversores de corriente y bancos de baterías.

En el capítulo 3, Metodología de la Investigación, se presenta la modalidad de la investigación, el nivel de investigación, el tipo de investigación, determinación de la población y la muestra para la recolección de los datos, instrumentos utilizados, operación de las variables; todo ello permitirá presentar un modelo viable para solucionar el problema. También se presentan los resultados de las diferentes experimentaciones realizadas por el autor sobre el proceso de secado de clichés, que permitieron determinar los valores y parámetros requeridos para el diseño de los secadores.

En el Capítulo 4, Análisis e interpretación de resultados, se presenta de una manera gráfica y tabulada los análisis de los resultados de las experimentaciones, para lo cual se determinó el tipo de cliché de mayor producción por parte de la empresa y los tiempos requeridos para el proceso de secado, se presenta también el análisis de los resultados de la simulación de la transferencia de calor desde las resistencias al sólido.

En el capítulo 5, Propuesta, se describe la propuesta de solución del problema, presentando de manera tabulada y gráfica la propuesta de la tecnología de fabricación de un nuevo secador para la empresa Evolution Flex S.A, además se determina la forma y dimensiones del secador, se selecciona los materiales a usar y finalmente se realiza una evaluación económica.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Antecedentes del problema**

A nivel mundial, para el procesamiento de planchas para impresión flexográfica (también denominadas cliché), existen dos tecnologías desarrolladas: la convencional y la digital, siendo esta última más costosa pero ofrece mejor calidad en las impresiones en las industrias: cartoneras, plásticas, etiquetas y otras.

Dentro del proceso de las planchas para impresión existen fabricantes de secadores para el proceso de secado del cliché, de marcas conocidas como: Dupont, Nyloflex del grupo Flint, Macdermid, Asaghi.

Para el proceso de secado del cliché, las empresas fabricantes de equipos secadores no han considerado como fuente de energía, a la solar, la misma que ha sido aprovechada para los procesos de secado de granos y cereales y con ciertas aplicaciones industriales distintas a las de secar clichés.

En el Ecuador existen varias empresas dedicadas al procesamiento del cliché, mediante la aplicación de los procesos digital y convencional, que se encuentran ubicadas en las principales ciudades del país.

Actualmente la empresa Evolution Flex S.A, empresa joven en el mercado se encuentra ubicada en la ciudad de Quito, posee dos secadores eléctricos de una sola bandeja, cuyas dimensiones satisfacen los requerimientos de los clientes, pero con ciertos inconvenientes para la empresa, debido al volumen de producción del cliché a secar y a la capacidad de los secadores que disponen.

Los requerimientos actuales de ciertos clientes de la empresa Evolution Flex S.A son el de que se provea de planchas flexográficas de mayores dimensiones, siendo el requerimiento de 105 x 202 cm máximo.

La empresa Evolution Flex S.A, para el proceso de secado utiliza actualmente los equipos EH001 y EH002, secadores eléctricos de una sola bandeja y de dimensiones siguientes:

Tabla 1.1. Dimensiones de los secadores de Evolution Flex S.A.

EQUIPO	PARTE	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)
EH001	CAMARA	105,00	0,50	0,48
	BANDEJA	0,70	0,40	0,12
EH002	CAMARA	1,80	1,20	0,60
	BANDEJA	1,70	1,15	0,12

Fuente: Evolution Flex S.A. & Cartagena Miguel (2013)

En ciertos días la producción de clichés se incrementa considerablemente y por ende el proceso de secado se le realiza hasta altas horas de la noche, provocando inconvenientes en los procesos posteriores de reposo y post exposición y finalmente retrasando la entrega del cliché a tiempo a los clientes.

## 1.2 Formulación del problema

La baja capacidad para el secado de clichés en los secadores eléctricos infrarrojos EH001 y EH002 de la empresa Evolution Flex S.A. y su incidencia en la eficiencia energética eléctrica en el secado de clichés.

## 1.3 Objeto de estudio

Secadores eléctricos infrarrojos EH001 y EH002 que dispone la empresa Evolution Flex S.A., para el secado de clichés.

## 1.4 Justificación

La literatura encontrada se refiere principalmente a información de: fabricantes de láminas fotopolímeras (clichés), investigaciones relacionadas al proceso de secado en general y en particular de los clichés. Esta información permitirá poner en conocimiento de la empresa, los fundamentos y comportamiento del secado de

clichés. Con la propuesta de tecnología de fabricación de un nuevo secador, la empresa Evolution Flex S.A podrá satisfacer su demanda en el secado de los clichés. El mejorar la capacidad de secado hará que la empresa incremente su eficiencia energética eléctrica y no tenga retrasos en la entrega de los clichés.

La demanda de clichés por parte de los clientes de la empresa Evolution Flex S.A ha permitido que se incremente la producción de los clichés, por lo que la empresa se ha visto avocada a incrementar a medida de sus posibilidades algunos equipos. Imposibilitado económicamente en adquirir un secador de clichés de mayor capacidad, debido a su alto costo. Se propuso a la empresa la tecnología de fabricación de un secador híbrido para su posterior construcción local.

La inversión de la empresa permitirá satisfacer su necesidad de incrementar la capacidad de secado de clichés, generando ahorros de tipo: económico y en el consumo de la energía eléctrica, debido que actualmente la potencia eléctrica de los secadores es 3850 W.

### **1.5.1 Objetivos generales**

1. Determinar la capacidad de secado de clichés de los secadores eléctricos EH001 y EH002 que actualmente dispone la empresa Evolution Flex S.A. y su incidencia en la eficiencia energética en el secado de clichés.
2. Proponer la tecnología de fabricación de un nuevo secador híbrido que permita incrementar la eficiencia energética eléctrica y que mejore la capacidad de secado en la empresa Evolution Flex S.A.

### **1.5.2 Campo de acción de la investigación**

Proceso de secado de clichés en los secadores eléctricos infrarrojos del tipo bandeja EH001 y EH002 en la Empresa Evolution Flex S.A.

### **1.5.3 Objetivos específicos**

1. Analizar el marco teórico relacionado con el proceso de secado de cliché y su capacidad que sirvan de fundamentación para la presente investigación.
2. Establecer el comportamiento de los secadores eléctricos del tipo bandejas empleado en la empresa Evolution Flex para el secado de clichés.
3. Definir los parámetros para la propuesta de la tecnología de fabricación del secador híbrido de cliché.
4. Mejorar la eficiencia energética en el proceso de secado de los clichés.

### **1.6 Hipótesis de la investigación**

Si se propone la tecnología de fabricación de un secador híbrido eficiente, a partir de la evaluación de la capacidad de los secadores infrarrojos EH001 y EH002 que actualmente dispone la empresa Evolution Flex S.A., entonces es posible aumentar la capacidad de secado de clichés e incrementar la eficiencia energética eléctrica en el secado de clichés.

### **1.7 Conclusiones del capítulo**

- En este capítulo se establecieron los principales elementos estructurales de la investigación, tales como: formulación del problema, el objeto de estudio, la justificación, los objetivos generales y específicos, el campo de acción y la hipótesis de la investigación, que permitirán encaminar el desarrollo de la tesis.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Delgado (2010) realiza una reseña histórica de la flexografía en la que se destaca los siguientes acontecimientos:

En 1908 la compañía Holweng patentó la primera máquina flexo y usaba como tinta la anilina, ésta fue reemplazada posteriormente por su efecto contaminante por tintas más amigables con el medio ambiente.

En 1951 los impresores decidieron cambiar el término de impresión con anilina por impresión flexográfica, llamada así porque la plancha es de un material flexible (hule o fotopolímeros), este sistema actualmente es utilizado para la impresión de empaques (fundas plásticas, caja de cartón), etiquetas y periódicos, siendo aceptado por su calidad y versatilidad, que se cree que llegará a sustituir al offset.

La flexografía es un sistema de transferencia de tinta que usa un cliché de hule, o fotopolímero, como medio de transferencia de la impresión.

Las primeras planchas de impresión flexográficas, aparecieron a inicios de la década de 1970 y son planchas con imágenes en relieve hecha de caucho flexible o fotopolímero, que imprime directamente sobre superficies irregulares como cartón ondulado. Los fotopolímeros son materiales plásticos sensibles a los rayos UV (ultravioletas).

Actualmente existe la norma ISO 12647-6, la cual garantiza la calidad y confiabilidad de la impresión flexográfica, mediante el control del proceso de separación de color, ganancias de punto, impresiones de prueba y de producción.

Una de las medidas que determinan la calidad de la impresión es el número de líneas por pulgada, comúnmente llamada lineaje de impresión, mientras mayor sea el número de líneas mejor será la calidad de la impresión.

Para la producción de matrices fotopolímeras, existen algunas tecnologías, entre las más utilizadas es la convencional y la digital.

La empresa Evolution Flex S.A para la producción de los clichés utiliza la tecnología convencional y ejecuta los siguientes procesos: diseño gráfico, procesamiento de película, pre exposición con luz UVA, exposición principal con luz UVA, proceso de lavado, proceso de secado, reposo del cliché, post exposición del cliché con luz UVA y UVC.

De la información revisada por el autor, se establece que para la producción de clichés o matrices flexográficas existen estudios especializados por fabricantes de las planchas fotopolímeras y de los equipos para la producción de clichés, tales como: Dupont, Nyloflex, Asaghi, Macdermid.

Evolution Flex S.A, empresa dedicada a producir clichés utiliza como materia prima las planchas flexográficas del fabricante Nyloflex del grupo Flint, las cuales son fabricadas bajo normas ISO 9001 e ISO 14001; en las hojas técnicas de las planchas de Nyloflex se emiten ciertas recomendaciones para el grabado de la imagen con luz UVA, el lavado con solvente, el secado, el reposo y el acabado final.

De acuerdo a McCabe, Smith y Harriott (2002) el proceso de secado de sólidos *“consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo”* (p. 835).

Para la extracción de los líquidos de los sólidos se pueden realizar de manera mecánica mediante prensas o centrífugas, o bien de modo térmico mediante evaporación. Se debe indicar que el secado térmico es más barato que los métodos mecánicos.

## 2.2 Fundamentación teórica

Los clichés son matrices poliméricas que se utilizan en la industria flexográfica, al hablar de flexografía nos referimos a la técnica de impresión en relieve en materiales como: plástico y papel mediante la utilización de tintas de secado rápido.

Según información entregada por Evolution Flex S.A y manual de instrucciones Nyloflex (1995) se determina que para la obtención de las planchas fotopolímeras o clichés se debe seguir los siguientes pasos:

Diseño gráfico, en el cual se define la imagen y los colores de la matriz que servirá para la impresión flexográfica, una vez que el diseño es aprobado por el cliente, se procede a obtener el o los negativos fotográficos de alto contraste.

Grabado, después del diseño gráfico se realiza el grabado de la imagen en la plancha fotopolímera, de la siguiente manera: se monta sobre la unidad expositora la lámina fotopolímera y encima el negativo fotográfico, sobre este conjunto se coloca un plástico transparente y mediante el uso de una bomba de vacío, se extrae el aire existente entre el polímero y la película, posteriormente se da exposición con luz UVA de tal manera que la película fotográfica funciona como un filtro, permitiendo que los rayos UVA penetren solamente en las áreas de imagen. En las partes expuestas a la luz UVA, el fotopolímero se polimeriza, es decir se endurece, mientras que la parte no protegida de la luz permanece suave, cabe indicar que para el grabado se debe tomar en cuenta el tiempo de exposición y la presión de vacío, ya que de éstos parámetros depende el piso y la altura del relieve, los tiempos recomendados van desde 2 a 16 minutos dependiendo del tipo de cliché.

Lavado, después de la exposición se lava la plancha fotopolímera por un tiempo entre 12 y 15 minutos dependiendo del espesor del cliché y se lo realiza mediante el uso de cepillos y solventes para retirar el material suave, mientras que la parte polimerizada queda como imagen en alto relieve, constituyéndose éste como superficie de impresión de la plancha, los solventes utilizados son mezcla de percloroetileno y n butanol, aunque también existe solventes ecológicos.

Pre secado, después del lavado se ejecuta un pre-secado mediante el uso de un paño con el que se retira el exceso de solvente en el polímero.

Secado, después de haber retirado el exceso de solvente del cliché, se ingresa al secador la plancha fotopolímera para evaporar la solución lavadora absorbida durante el lavado, es importante realizar después de 10 o 20 minutos una inspección para detectar defectos de superficie, residuos de solvente u otros defectos, puede que sea necesario limpiar nuevamente con un paño y poco de solvente limpio. El proceso de secado sirve para asegurar la reproducción correcta de la imagen y para mantener el espesor correcto de la plancha. Cabe destacar que los tiempos de secado son recomendados por los fabricantes de las planchas fotopolímeras, para el caso de Nyloflex los tiempos recomendados son: clichés 45 y 67, 1 hora, mientras que para los clichés 112 y 155 es de 2 horas como mínimo y a una temperatura cercana a los  $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Reposo, el cliché secado, se requiere de un reposo recomendado de 12 a 15 horas a temperatura ambiente para garantizar la reposición completa a la medida de la plancha bruta.

Exposición luz UVC, se realiza el acabado del cliché mediante la exposición a luz UVC, que sirve para quitar la pegajosidad provocada por el solvente en la plancha.

Exposición luz UVA, finalmente una nueva exposición con luz UVA para completar la polimerización y lograr las propiedades físicas óptimas.

### **2.2.1 Definición de secado**

Según Geankoplis (1998) la operación de secado se refiere a *“la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El término de secado se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos”*. (p.579)

## **Fundamentos del secado**

McCabe et al. (2002) respecto a los fundamentos de secado, manifiesta que:

*“Debido a la gran variedad de materiales que se secan en equipos comerciales y a los muchos tipos de equipos que se utilizan, no existe una sola teoría de secado que comprenda todos los materiales y tipo de secadores. Las variaciones posibles en forma y tamaño de los materiales, de los equilibrios de humedad, de los mecanismos del flujo de humedad a través del sólido, así como en el método de transferencia de calor que se requiere para la vaporización, impiden que exista un tratamiento unificado. Los usuarios de secadores rara vez lo diseñan, más bien se adquieren a compañías especializadas en la ingeniería y fabricación de este tipo de equipos”.* (p.837)

## **Parámetros del proceso de secado**

En general, se puede decir que existen parámetros involucrados en el proceso de secado que interactúan y hacen posible que se dé el secado, la importancia de cada uno de ellos depende del material a secar, tales como: transferencia de calor, procesos psicrométricos, atmósfera de secado y condiciones externas.

### **2.2.2 Mecanismos de transferencia de calor**

De la información revisada por el autor, la transferencia de calor se puede dar por varios mecanismos como son: conducción, convección o por radiación, siendo por conducción cuando se tiene una superficie caliente en contacto con el producto a secar; por convección cuando se realiza entre el producto y un medio de calentamiento y por radiación cuando existe una generación interna de calor en el producto debido a la exposición de éste a rayos infrarrojos, microondas o calentamiento dieléctrico.

## **Secado de sólidos por convección**

El aire con una humedad relativa inferior al sólido húmedo se pone en contacto con el sólido y éste tiende a perder humedad hasta alcanzar el equilibrio con el aire. El secado por convección puede ser de dos tipos: natural y forzada. La natural se presenta entre una superficie y un fluido en movimiento. Las diferencias de temperaturas, cambian la densidad del fluido, produciendo un cambio en el movimiento. Mientras que la forzada es cuando el movimiento del fluido es provocado por un agente externo al sistema, estos pueden ser ventiladores, sopladores, compresores o bombas.

## **Transferencia de calor en secadores**

McCabe et al. (2002) respecto a la transferencia de calor manifiesta que:

*“Es posible secar muchos materiales con el solo hecho de calentarlos por encima de la temperatura de ebullición del líquido, tal vez bastante por encima, con el fin de liberar las últimas trazas de material absorbido. Así mismo se puede secar un sólido húmedo simplemente exponiendo en un una cámara que contenga vapor de líquido altamente sobrecalentado, en este proceso no existen limitaciones de difusión, convirtiéndose el problema únicamente de transferencia de calor”*. (p. 839)

### **2.2.3 Curvas de velocidad de secado**

Geankoplis (1998), manifiesta que:

*“Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad, la temperatura del aire, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado, para ello es necesario que se obtengan curvas que representen la velocidad de secado de forma experimental”*. (p.596)

En la figura 2.1 se indica la típica curva de secado. En el que existen períodos de ajuste, periodo constante en el que existe la humedad crítica, primer periodo postcrítico (lineal) y segundo periodo postcrítico (no lineal) es cuando la velocidad llega a ser cero y el sólido se encuentra seco.

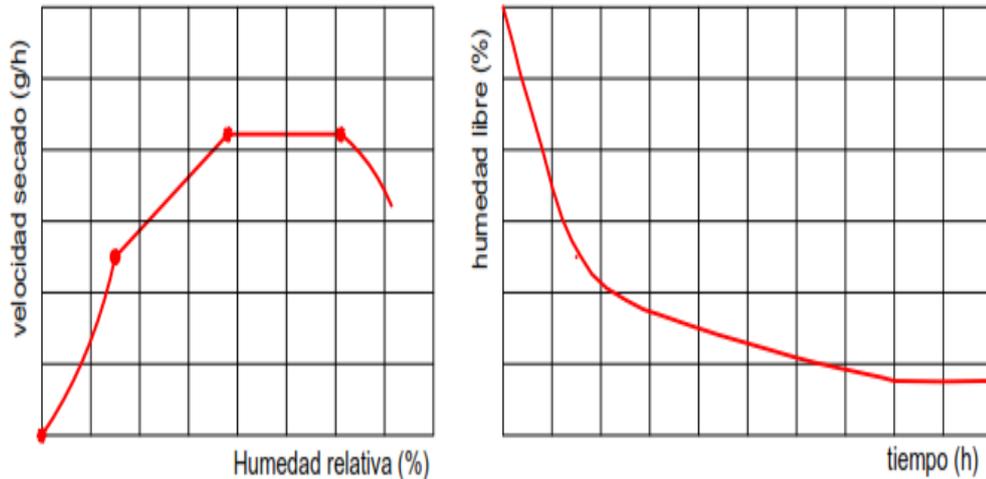


Figura 2.1 Curvas características del proceso de secado.

Fuente: Geankoplis (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias (p.598)

### Secado superficial a través del sólido

Mcabe et al. (2002) manifiesta que:

*“Las velocidades de transferencia de masa y de calor hacia las superficies de las partículas en un lecho de sólidos son calculables. Sin embargo los resultados se utilizan sólo para estimaciones preliminares, de forma que es necesario realizar ensayos experimentales con el material real que se va a secar”.* (p. 853)

### Clasificación de la operación de secado

Perry & Green (2001), realiza una clasificación de los de los diferentes secadores que se encuentran en el mercado internacional, a continuación se muestra en la tabla 2.1 los tipos de secadores.

Tabla 2.1. Tipos de secadores

TIPOS DE SECADORES				
DIRECTOS		INFRARROJOS, DIELÉCTRICOS	INDIRECTOS	
La transferencia de calor se logra por contacto directo entre los sólidos y los gases calientes (secadores por convección).		Llamados también secadores radiantes y dependen de la generación, la transmisión y la absorción de rayos infrarrojos.	El calor de secado se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención, llamados también secadores por conducción o de contacto.	
CONTINUOS	DISCONTINUOS		CONTINUOS	DISCONTINUOS
Secadores de bandejas	Secadores discontinuos de circulación directa		Secadores de cilindros	Secadores con agitación
Secadores de material dosificado en una capa	Secadores de bandejas y compartimentos		Secadores de tambor	Secadores por congelación
Secadores de transportador neumático	Lechos fluidizados		Secadores de transportador de tornillo	Secadores rotatorios al vacío
Secadores rotatorios			Secadores rotatorios de tubería de vapor	Secadores de bandejas al vacío
Secadores por aspersión			Secadores de bandejas vibratorios	
Secadores de circulación directa			Tipos especiales	
Secadores de túnel				
Lechos fluidizados				

Fuente: Perry & Green (2001). Manual del Ingeniero Químico. (p. 12-46)

### Equipo para secado tipo bandeja

Este tipo de secadores está conformado por un gabinete (cámara u hogar) en el cual se alojan las bandejas, de un ventilador el cual recircula el aire caliente, paralelamente a la superficies de las bandejas y de un serpentín eléctrico para calentar el aire circulante.

Los secadores de este tipo básicamente son aplicados para secar madera, cerámica, hojas, semillas, granos y para secar pintura aplicada en ciertas partes metálicas.

#### 2.2.4 Plancha fotopolímera para impresión (cliché)

Cliché es una plancha fotopolímera que se puede definir como un material plástico sensible a los rayos UV en el que se graba en alto relieve una imagen útil que servirá para imprimir en una superficie, este material está compuesto de varias capas tal como se puede apreciar en la imagen de la figura 2.2.

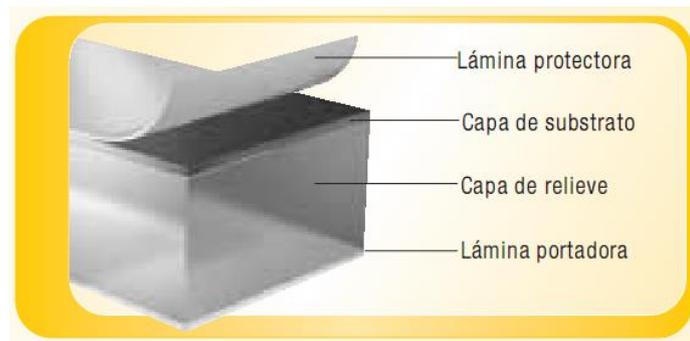


Figura 2.2. Plancha fotopolímera.

Fuente: Nyloflex (2005). Instrucciones de trabajo (p. 5)

#### Aplicaciones del cliché

Según Delgado (2010) las planchas fotopolímeras al tener una alta dureza y máxima resolución para tramas y líneas muy finas, con una menor ganancia de punto en la impresión, hacen que se tenga una gran variedad de aplicaciones como embalaje flexible, envases flexibles, etiquetas, fundas plásticas y de papel, cartones lisos y corrugados. Se debe aclarar que existen clichés de diferentes espesores y que son usados dependiendo del material sobre el cual se imprimirá.

#### Secado del cliché

En el proceso de secado del cliché, se evapora el solvente absorbido por el fotopolímero en el proceso de lavado. Según fabricantes el tiempo de secado del cliché va de acuerdo al tipo y la aplicación que se dará a estos, en la tabla 2.3 se muestran los tiempos de cada cliché recomendados por el fabricante Nyloflex y en la figura 2.3, se observan los clichés sometidos a secado.

Tabla 2.3. Tiempos recomendados para el secado de clichés

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CLICHÉS DEL FABRICANTE NYLOFLEX - PROCESO CONVENCIONAL					
CARACTERÍSTICAS	Unidad	Nyloflex FAR Espesor 1.14 mm (0.045")	Nyloflex FAR Espesor 1.70 mm (0.067")	Nyloflex FAR Espesor 2.84 mm (0.112")	Nyloflex FAC Espesor 3.94 mm (0.155")
Peso por cm <sup>2</sup>	g	0,15	0,45	0,27	0,40
Dureza	Sh A	72	61	52	33
Reproducción de imagen	%	2 - 95	2 - 95	2 - 95	3 - 95
	L/cm	60	60	60	40
Ancho mínimo de línea positiva	um	100	100	100	300
Tamaño mínimo de punto aislado	um	200	200	200	750
Profundidad de relieve	mm	0.6 - 0.7	0.7 - 0.9	0.9 - 1.2	1.0 - 1.5
Tiempo de exposición UVA	min	8 - 15	8 - 15	8 - 24	7 - 16
Velocidad de lavado	mm/min	160 - 200	160 - 200	130 - 170	80 - 110
Tiempo de secado	hora	1-1,5	1-1,5	2-3	2-3
Temperatura de secado	° C	60-65	60-65	60-65	60-65
Post tratamiento UVA	min	10	10	10	10
Acabado suave UVC	min	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15

Fuente: Nyloflex (2013). Instrucciones de trabajo (p. 27)

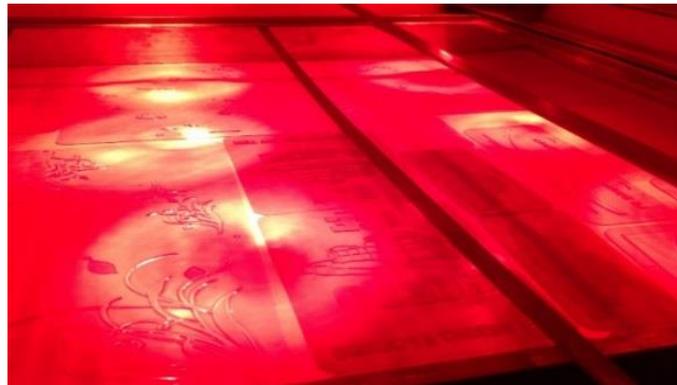


Figura 2.3. Secado de cliché en secador de Evolution Flex  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

### 2.2.5 Materiales y equipos a usar para el secador

Los principales materiales que se utilizarán en la tecnología de fabricación del secador son: láminas de acero para la estructura del secador, el aislante a utilizar, tipo de resistencia eléctrica, equipo inyector y extractor de aire caliente, sistema de aprovechamiento de la energía solar.

#### Materiales metálicos

El solvente que se encuentra ligado al cliché es una mezcla de percloroetileno y n butanol, los cuales tienen la propiedad de ser elementos corrosivos, y por ende en

el interior del secador el ambiente será corrosivo. Para mitigar el ambiente del interior del secador es necesario que los materiales sean resistentes a la corrosión. Según el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), el material que soporta la corrosión es el acero inoxidable, según AISI el 316 es un acero que presenta alta resistencia a la corrosión y además se encuentra fácilmente en el mercado. Para la parte externa del secador, la cual no está sujeta a la corrosión se utilizará un material liviano y no corrosivo, según AISI el material adecuado es el aluminio 6061.

### **Materiales aislantes**

La principal función de los materiales aislantes es el de ofrecer una buena resistencia térmica a la transferencia del calor. En el mercado existen varios productos que tienen diferentes aplicaciones y que son agrupados conforme a la naturaleza de los mismos.

Independientemente de sus propiedades específicas, los aislantes tienen ciertas cualidades complementarias como son: precio, ausencia de propiedades corrosivas, flexibilidad o rigidez, resistencia mecánica, incombustibilidad, estética si el producto es visto, con frecuencia resulta difícil la elección entre los diferentes aislantes.

El aislante térmico se puede producir con diferentes materiales o combinaciones de ellos, de diversas formas, tamaños y espesores.

### **Clasificación de los aislantes**

Dependiendo de la temperatura a la que se encuentra un material, los aislantes térmicos se pueden clasificar en:

- Sistemas criogénicos de alto vacío, desde  $-273^{\circ}\text{C}$  a  $-101^{\circ}\text{C}$ , multicapa, espumados o celulares.
- Sistemas de baja temperatura, desde  $-101^{\circ}\text{C}$  a  $-1^{\circ}\text{C}$ , vidrio celular, fibra de vidrio, espuma de poliuretano y la espuma de poliestireno.

- Sistemas de temperatura moderada y alta, mayores a 2°C, materiales celulares o fibrosos.

Cabe indicar que existen otros materiales que soportan altas temperaturas que llegan hasta 1200 °C y que son de tipo cerámicos.

En la figura 2.4, se puede seleccionar el tipo de aislante térmico, dependiendo de la temperatura a la cual va estar sometido el aislante térmico.

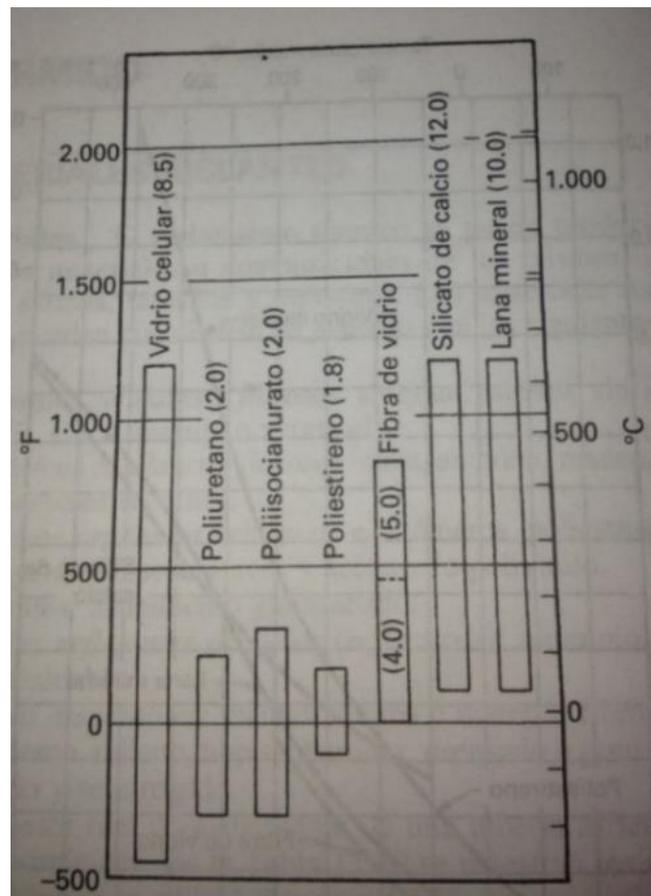


Fig. 2.4. Determinación del tipo de aislante térmico en función de la temperatura.  
Fuente: Perry & Green (2001). Manual del Ingeniero Químico (p. 11-90)

### **Materiales eléctricos**

Para la tecnología de fabricación del secador, el principal componente a usar son las resistencias eléctricas que conforme a la temperatura y a la cantidad de calor que se requiere en el secador, serán calculadas y seleccionadas.

## **Resistencias eléctricas**

Para calcular la resistencia eléctrica ( $R$ ), es necesario conocer primero el coeficiente de resistividad o resistencia específica " $\rho$ " de dicho material, la longitud que posee ( $L$ ) y el área de su sección transversal ( $A$ ).

En el mercado existen resistencias eléctricas que se instalarán en medios sumergidos en líquidos o directamente al aire.

Las aplicaciones de las resistencias eléctricas inmersas en líquidos tenemos: calentadores de agua para generar vapor, recalentamiento de fuel oil, termos, cámaras de aceite, destilación, limpieza, desengrase, y otras.

Las aplicaciones de las resistencias eléctricas directamente al aire tenemos: calentamiento de masa, plástico para máquinas termoformadoras; aplicaciones de secado en papel, pintura, madera, cerámica; aplicaciones de calentamiento para máquinas de envasado, tratamientos de polietileno, tratamientos de vapores y polvos; calefacción en locales en general.

Las resistencias eléctricas instaladas al aire, se pueden clasificar en: emisores de infrarrojos (cerámicos, pantallas simples y pantallas orientables), resistencias para aire forzado (aleteados, forma de U, para aire acondicionado).

Resistencias para aire forzado, son dispositivos contruidos generalmente en acero inoxidable AISI 321 o AISI 304L (ASTM 304), de diámetro de 8 a 10 mm, con aletas de aluminio o acero inoxidable, que son usadas por el bajo costo, aunque puede ser de inoxidables o embebidas; dependiendo del ambiente se selecciona el tipo de aleta. Cabe indicar que las resistencias con aletas permiten maximizar la transferencia de calor.

En la figura 2.5, se describen las resistencias eléctricas utilizadas para generar aire caliente. Las principales aplicaciones de las resistencias eléctricas son: termoformados, estufas, aire acondicionado, hornos eléctricos y secadores.

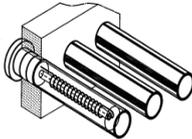
CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	
<b>SEGÚN EL MATERIAL</b>	
<p><b>Las resistencias eléctricas de tubos radiantes</b> son las que se encuentran enfundadas en un tubo metálico y en ciertos casos aleteados (acero-aluminio-cobre).</p>	
<p><b>Las resistencias blindadas</b> están construidas de tal forma que la resistencia eléctrica se encuentra enfundada en un material cerámico y abierto en su extremo.</p>	
<b>SEGÚN LA FORMA CONSTRUCTIVA</b>	
<p><b>Resistencias tubulares:</b> son los elementos calefactores más utilizados para aplicaciones a nivel industrial, son fabricados en tubería de incoloy o acero inoxidable que ofrecen gran resistencia mecánica y a la corrosión. Son elementos muy versátiles debido a su fabricación permitiendo entregar altas temperaturas con muy variadas formas y diámetros.</p>	
<p><b>Resistencia tipo cartucho:</b> alta densidad, baja densidad con aislamiento interno de cerámica y tipo horquilla.</p>	
<p><b>Resistencias tipo bandas,</b> que pueden ser del tipo: abrazadera estándar, banda plana y abrazadera con recubrimiento térmico.</p>	
<p><b>Resistencias flexibles</b> elaboradas en funda de fibra de vidrio esmaltada con doble aislamiento para evitar rupturas del filamento resistivo, utilizadas comunmente para la descongelación y calefacción de puertas de cavas, desagües, vidrios y alrededor de tuberías.</p>	
<p><b>Resistencias para la línea doméstica,</b> como es para calentar agua, aceite y son tubos de aluminio o cobre en diferentes formas, ya sea circular o espiral.</p>	

Figura 2.5. Clasificación de las resistencias eléctricas

Fuente: Resumen de varios autores

## **Determinación del valor de la resistencia eléctrica**

Para determinar el valor de la resistencia para la generación de calor para el secador se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (\Omega) \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde

R: Resistencia eléctrica ( $\Omega$ ).

$\rho$ : Valor de resistividad de cada material ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ).

L: Longitud total del conductor que da forma a la resistencia (cm).

A: Área del conductor de la resistencia ( $\text{cm}^2$ ).

## **Sistema de captación y expulsión de los gases (ventilación)**

Echeverri (2011) realiza una descripción de conceptos generales sobre la ventilación, tales como:

*“Ventilación: aquella técnica que permite sustituir el aire del ambiente de un local, por otro de mejores características, tales como: pureza, temperatura y humedad.*

*Existen dos tipos principales de ventilación, la general y la exhaustiva local, la primera puede ser natural y mecánica, las cuales buscan la renovación y control del aire en la totalidad de un ambiente y la segunda (exhaustiva local) trata de crear condiciones particulares en sectores delimitados y permiten captar y remover los contaminantes en vez de diluirlos”. (p. 17)*

## **Ventiladores**

Echeverri (2011) plantea que:

*“Para mover el aire a través de un sistema de ventilación exhaustiva es necesario suministrar energía para vencer las pérdidas de presión del sistema y que su funcionamiento se basa en el suministro de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del aire”.* (p. 127)

Existen en el mercado varios tipos de ventiladores como son: axiales para mover grandes cantidades en espacios abiertos, centrífugos los más usados en donde el aire ingresa por una abertura concéntrica hasta el rotor que gira a gran velocidad, en este tipo de ventiladores las condiciones de entrada y salida forman un ángulo de 90° y son de menor ruido.

### **Determinación de ventiladores**

Para la determinación de los ventiladores existen curvas y tablas que permiten seleccionar adecuadamente el ventilador, tomando en cuenta las siguientes variables: caudal volumétrico, caída de presión, rpm, potencia, tipo de motor y modo de transmisión.

Otro método para la determinación de un ventilador es mediante el cálculo del flujo de gas a extraer y del tiempo que tome la extracción, también se selecciona un ventilador en función del número de renovaciones que se realizará a cierta área, tales como: hornos y secadores de aplicación industrial, bibliotecas, restaurantes, cines, etc.

Para la tecnología de fabricación del secador, se tomará en cuenta los gramos del solvente ligado al cliché y el tiempo que toma en extraerlo, este último definido por los fabricantes de clichés.

En la tabla 2.4 se muestran los diferentes tipos de ventiladores existentes.

Tabla 2.4. Clasificación de ventiladores

CLASIFICACIÓN DE VENTILADORES Y RANGOS DE OPERACIÓN			
TIPOS		$m^3/s$ CAUDAL	Caída de presión mm H <sub>2</sub> O
AXIALES	Propela	0.24 - 23.60	0 - 15.9
	Aspas	0.24 - 18.88	0 - 15.9
	Tuboaxial	0.24 - 28.32	0 - 50.8
	Helicoidales	0.24 - 70.79	0 - 127
CENTRÍFUGOS	Aletas radiales	0.24 - 33.04	12.7 - 508
	Aletas curvas hacia adelante	0.19 - 1415.8	6.4 - 381
	Aletas curvas hacia atrás	0.14 - 1415.8	6.4 - 381
	Aletas aerodinámicas	0.24 - 1415.8	6.4 - 381

Fuente: Echeverri (2011). Ventilación Industrial (p. 132 y 136)

### **Circulación de aire forzado**

El aire se hace circular en el interior del secador mediante grupos de ventiladores que serán seleccionados en función del requerimiento de la carga, el aire forzado pasa por las resistencias eléctricas que se encuentran fuera de la cámara del secador.

### **Control de la temperatura del secador**

Los secadores u hornos, deben operar normalmente a una temperatura constante o seguir un ciclo determinado de calentamiento. Para conseguir dicha temperatura se requiere de elementos controladores de la temperatura en el interior del secador.

Si en el interior del secador no existe un controlador de temperatura, puede ocasionar daños o errores en el proceso de secado, para controlar esta temperatura es necesario utilizar un termopar de detección de temperatura que se encuentre instalado en el interior del secador y con este un elemento regulador de temperatura.

### **Controlador de temperatura**

Para controlar con precisión la temperatura del proceso de secado sin la participación continua del operador, se requiere de un sistema de control de temperatura (controlador), el cual debe tener un sensor de temperatura tal como un termopar o RTD como entrada.

Según Omega (2014) en su publicación manifiesta que:

*“El controlador compara la temperatura real con la temperatura deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control. Para la determinación del controlador de temperatura más adecuado, se deben considerar los siguientes parámetros:*

*Un sensor de entrada (termopar, RTD) y rango de temperatura.*

*Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica).*

*Algoritmo de control necesario (encendido / apagado, proporcional, PID).*

*Número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite).*

*En el mercado existen básicamente tres tipos de controles: ON/OFF, proporcional y PID.*

*El controlador ON/OFF es la forma más simple para el control de temperatura. La salida del dispositivo se encuentra encendida o apagada.*

*Un controlador **ON/OFF** cambia la salida sólo cuando la temperatura atraviesa el punto de ajuste. Para el control del calentamiento, la salida se activa cuando la temperatura está por debajo del punto de ajuste, y se apaga cuando está por encima del mismo.*

*Los controles **proporcionales** disminuyen la potencia media suministrada al calentador cuando la temperatura se aproxima al punto de ajuste. Esto tiene el efecto de disminuir la energía del calentador al aproximarse al punto de ajuste sin que lo sobrepase, manteniendo una temperatura estable. La proporcionalidad se produce dentro de una “banda proporcional” al set de temperatura que se requiere, fuera de la banda proporcional el controlador se comporta como un controlador ON/OFF. Sin embargo dentro de la banda el controlador enciende o apaga en relación a la diferencia de la medición del punto designado.*

*El controlador **PID**, es el control proporcional más un control integral y derivativo. Este controlador combina control proporcional con dos ajustes adicionales, que ayuda a la unidad automáticamente a compensar los cambios en el sistema. Estos ajustes, integral y derivativo, se expresan en unidades basadas en el tiempo, también se les nombra por sus recíprocos, **RATE** y **RESET**, respectivamente. En el mercado se ofrece un número de controladores que calculan y ajustan automáticamente los valores de PID, estos son conocidos también con el nombre de controladores autoajustables”.*

En la figura 2.6, se muestra un tipo de controlador de temperatura PID, el cual es el recomendado para manejar masas pequeñas y en el caso del cliché no ocasionar daños de hinchamientos debido a sobre temperaturas.



Figura 2.6. Controlador de temperatura  
Fuente: Omrom (2013). Controladores de temperatura

### **2.2.6 Energía solar**

Por definición se podría decir que la energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol.

Se estima que la temperatura en el interior del sol debe ser del orden de  $10^7$  °K, la temperatura "efectiva de cuerpo negro" es de 5762 °K. Existen sin embargo otras formas de calcular la temperatura de la fotosfera, que dan como resultado alrededor

de 6300 °K. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio de captadores que mediante diferentes tecnologías (células fotovoltaicas, helióstatos, colectores térmicos) pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiación.

### **Tipos de radiaciones**

Según Rodríguez (2012) existe la radiación directa, difusa, terrestre y total, las cuales se describen a continuación.

#### ***“Radiación directa (b)***

*Se conoce como radiación directa, la que se recibe directamente del sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa. Generalmente se usa el subíndice "b" para indicar radiación directa.*

#### ***Radiación difusa (d)***

*La radiación difusa es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la luna. Suele utilizarse el subíndice "d" para la radiación difusa.*

#### ***Radiación terrestre***

*Por otro lado, se conoce como radiación terrestre la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago, etc.*

### ***Radiación total***

*Es la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie”.*

### **Incremento de la radiación solar**

Existe una amplia variedad de medios que permiten aumentar el flujo de la radiación solar sobre un receptor, tomando en cuenta una serie de factores, el incremento de la radiación se puede dar por:

- El que sean lentes o reflectores.
- Por el sistema de montaje y modelo de orientación.
- Por la magnitud de la concentración de radiación que son capaces de conseguir.
- Por los materiales utilizados en su construcción.

### **Recurso energético solar disponible**

Según Rodríguez (2012) en sus apuntes manifiesta:

*“El recurso energético disponible (irradiancia o insolación) es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra, y se puede determinar por diferentes expresiones matemáticas, entre las más conocidas, se tiene: Glover y Mc Culloch, Liu - Jordan, Page, atlas solares”.* (d. 13)

### **Irradiación solar en Quito**

En agosto de 2008, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), publicó el atlas solar con fines de generación eléctrica, en el cual se aprecia los datos de los diferentes tipos de insolación y el promedio de los mismos en los diferentes meses del año 2008; en este atlas, para obtener el valor de la insolación, se deben

interpretar los diferentes colores. En la figura 2.7 se aprecia la insolación promedio global del año 2008.

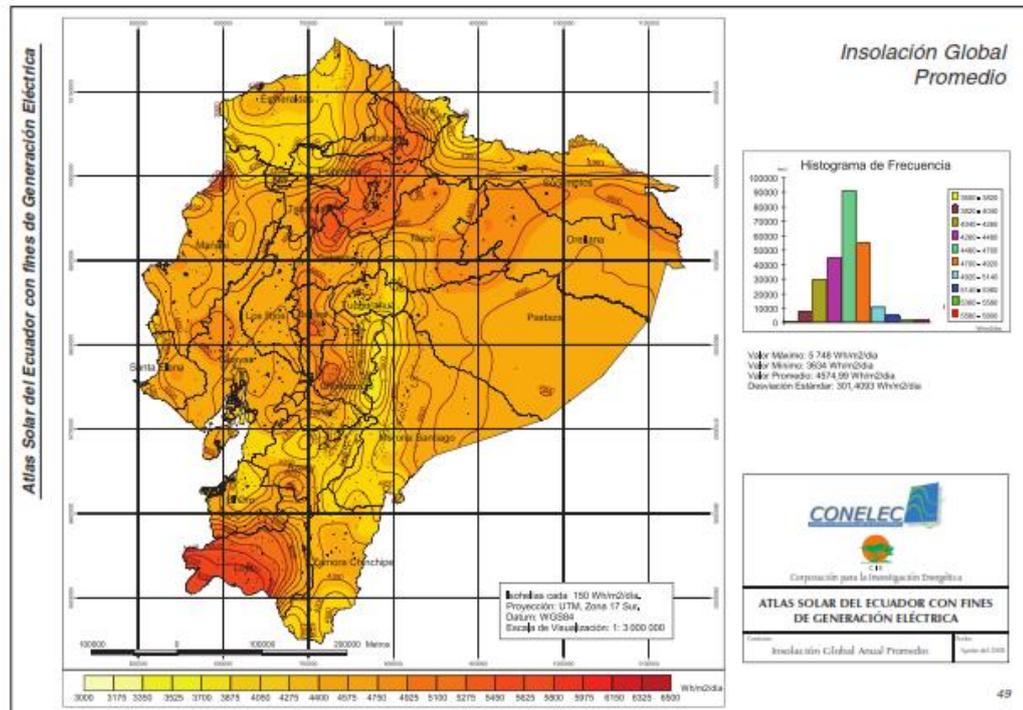


Figura 2.7. Insolación global promedio, año 2008

Fuente: Conelec (2008). Atlas Solar del Ecuador, Generación Eléctrica (p. 49)

### Análisis de las formas de utilización de la energía solar

La energía solar puede ser aprovechada de manera directa a través de acristalamientos con capacidad de absorción de energía térmica, e indirectamente mediante la transformación de la energía solar en calor para lo cual se usa captadores solares para calentar fluidos como agua y aire principalmente, además se obtiene energía eléctrica mediante el uso de celdas fotovoltaicas.

### Colectores solares

Es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica. Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS, y los colectores de alta temperatura,

conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica. También existe otra clasificación de acuerdo a la sustancia que circula, y dentro de ellos tenemos: placas absorbedoras para calentamiento de líquidos y placas absorbedoras para calentamiento de gases.

### Receptores de energía solar

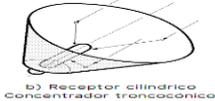
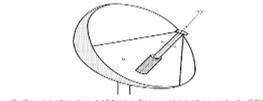
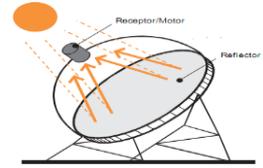
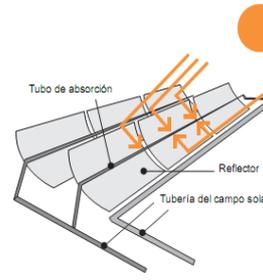
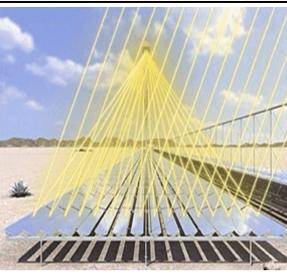
TIPOS DE RECEPTORES DE ENERGÍA SOLAR		
TIPO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	IMAGEN
Receptor plano y concentrador - reflector plano	Aprovecha básicamente la radiación difusa incidente sobre el colector	
Receptor cilíndrico y concentrador - reflector troncocónico	Las características de concentración son mejores que el caso anterior	 b) Receptor cilíndrico Concentrador troncocónico
Receptor cilíndrico y concentrador - reflector esférico	Son de mejor características concentradoras que las anteriores	 d) Concentrador esférico fijo y receptor móvil, SRTA
Disco parabólico	La energía reflejada es absorbida por los concentradores haciendo que el fluido del receptor se caliente a unos 750°C. Este se usa para generar energía eléctrica a través de un motor Stirling o una micro turbina.	 Receptor/Motor Reflector
Colector con concentrador - reflector cilíndrico parabólico y receptor tubular	Se usan reflectores de espejo en forma de canal para concentrar la luz solar en los tubos del receptor, situado en la línea focal del canal. Por estos tubos circula un fluido que tiene capacidad de transferir calor (aceite térmico sintético) y el cual por motivos de la concentración de los rayos solares se calienta a 400°C, este aceite pasa posteriormente por un intercambiador de calor para producir vapor sobrecalentado y luego mover un turbogenerador.	 Tubo de absorción Reflector Tubería del campo solar
Concentrador de reflexión Fresnel y concentrador refractor Fresnel	En el reflector Fresnel, las superficies pueden ser planas o curvas, estando diseñada cada una para reflejar individualmente la radiación sobre el receptor; su gran ventaja radica en su facilidad de construcción, siendo muy interesante su utilización en colectores solares de gran potencia y alta temperatura. El refractor Fresnel utiliza un sistema de concentración parecido a un montaje de lentes con un punto focal único.	

Figura 2.8. Tipos de receptores solares  
Fuente: Resumen de varios autores

## 2.2.7 Energía fotovoltaica

Se entiende por energía fotovoltaica, aquella que aprovecha la radiación producida por el sol para la generación de energía eléctrica. Para ello se usan una serie de elementos ópticos y aparatos eléctricos y electrónicos que adecuan este tipo de energía para que pueda ser utilizada.

En la figura 2.9 se muestra un sistema fotovoltaico, el cual está constituido por los siguientes elementos: módulo fotovoltaico, regulador de carga, acumulador de energía (banco de baterías), inversor de corriente.

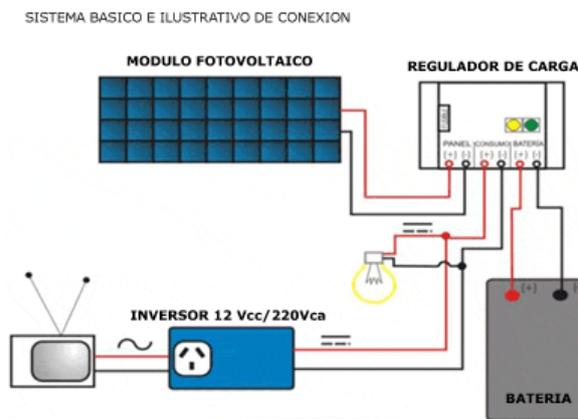


Figura 2.9. Esquema típico de sistema fotovoltaico

Fuente: Prieto (2012). Elementos que forman parte de una instalación eléctrica

### Paneles fotovoltaicos

Convierte la energía solar en energía eléctrica continua de 12 o 24 V. Está construido para soportar condiciones ambientales severas, su rendimiento baja después de 20 años aproximadamente.

Los paneles fotovoltaicos, son unos equipos contruidos con materiales ópticos, y cuyos materiales son dispuestos de tal forma que retienen la energía solar para transformarla en energía eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos se pueden clasificar en dos grandes grupos: monocristalinos y policristalinos, el primero formado por un solo cristal de forma

circular o hexagonal, mientras que el segundo está formado de pequeñas partículas cristalinas, las monocristalinas son más caras que las policristalinas, figura 2.10.



Figura 2.10. Paneles fotovoltaicos  
Fuente: Prieto (2013). Paneles solares monocristalinos y policristalinos

### **Estructura de un módulo fotovoltaico**

La estructura constructiva de un módulo fotovoltaico es del tipo sándwich, esto es que los materiales se apilan unos encima de otros sin dejar espacio entre ellos. Los materiales que componen esa estructura son los siguientes: una capa de cristal, una capa de acetato de vinilo, las células fotovoltaicas compuestas de dos capas de silicio y otra de un material semiconductor y finalmente por varias capas de vidrio, ver figura No. 2.11.

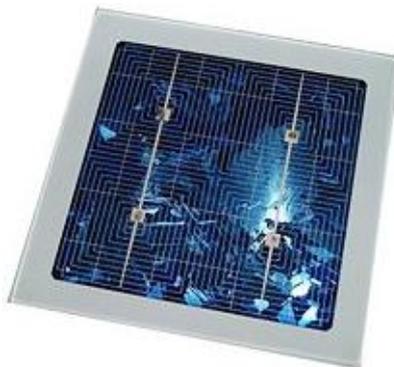


Figura 2.11. Estructura de un módulo fotovoltaico  
Fuente: Prieto (2013). Panel monocristalino o policristalino

## **Regulador de tensión**

Es un dispositivo electrónico que evita tener sobrecargas o descargas excesivas de los acumuladores, permiten asegurar que el sistema trabaje siempre con la mayor eficiencia.

## **Baterías**

Es un dispositivo eléctrico que permite acumular la energía producida por un generador fotovoltaico y a su vez entrega energía según la demanda. Este elemento tiene una vida útil de aproximadamente 5 años.

El Instituto Ecuatoriano de Estandarización y Normalización ha emitido la Norma INEN 2534 en la que se da recomendaciones generales para la disposición de productos pilas y baterías en desuso.

### Recomendaciones para el uso de baterías.

Para cargar la batería se recomienda una corriente (I) no mayor a una décima parte de la capacidad de la batería, y de un voltaje superior a la tensión nominal de la batería más 2.4 V.

$$I = 0,1 \cdot Ah \quad (A) \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Para calcular la cantidad de energía extraída de la batería (q), se lo determina mediante la siguiente expresión:

$$q = \frac{Ah}{A \cdot t} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde

q: Cantidad de energía extraída.

Ah: Capacidad de la batería y viene detallada en la placa de la batería (Ah)

A: Corriente que se consume, expresada en amperios (A).

t: Tiempo de uso de la batería (h).

Dependiendo del tipo de baterías se recomienda que su descarga sea un rango porcentual de la capacidad, entre un 20% (descarga superficial) y 80% (descarga profunda).

Para el caso de baterías que requieren mantenimiento se debe revisar los niveles de líquido de las baterías.

### **Inversor de corriente**

Es un dispositivo electrónico que transforma la corriente continua (c.c) de 12 o 24 voltios a corriente alterna (c.a) de 110 o 220 voltios.

### **2.2.8 Energía eléctrica**

Para expresar la cantidad de energía eléctrica generalmente se usa la unidad watt/hora, para sistemas de baja tensión como son los fotovoltaicos.

Para la energía acumulada en baterías se usa generalmente el amperio/hora y la relación entre las unidades W/h y A/h es:

$$Wh = V \cdot Ah \quad \text{Ec. (2.4)}$$

El **factor de capacidad** de una planta es un indicador para medir la productividad de generación eléctrica, este indicador compara su producción real durante un periodo dado con la cantidad que se habría producido si hubiese funcionado a plena capacidad en el mismo tiempo.

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción teórica}} \times 100\% \quad \text{Ec. (2.5)}$$

**Demanda máxima:** La demanda máxima representa para un instante dado, la máxima coincidencia de cargas eléctricas operando al mismo tiempo, es decir corresponde al valor instantáneo en el tiempo, medido en unidades de potencia.

Factor **de potencia**: Es la relación entre la demanda máxima del sistema y la carga total conectada en un instante de tiempo determinado.

### **2.2.9 Método general para determinar la potencia calórica**

Para determinar la potencia calórica requerida se deberán tomar en consideraciones ciertos factores, tales como:

#### **Datos de partida para cálculo de calor requerido para secar clichés**

Según información publicada por fabricantes de resistencias eléctricas Escoda (2012), para determinar la potencia calórica necesaria para el proceso de secado, debemos considerar los siguientes datos:

- Temperatura inicial (°C).
- Temperatura final (°C).
- Caudal o volumen máximo del material a calentar (m<sup>3</sup>/h).
- Tiempo requerido para el proceso de calentamiento (h).
- Dimensiones del recipiente (cm).
- Tipo de aislamiento térmico.
- Datos eléctricos como: tensión de alimentación.
- Elementos de control: temperatura y potencia.

### **2.2.10 Cálculo de la potencia calórica necesaria para secar cliché**

Para determinar la potencia calórica se utilizará las siguientes fórmulas.

$$PT = (PA + PB + PC) * FS \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde

- PA:** Potencia para aumentar la temperatura del material en el tiempo (W).
- PB:** Potencia para fundir o vaporizar el material en el tiempo deseado (W).
- PC:** Pérdidas de calor por aislantes y superficies (W).
- FS:** Factor de seguridad. Normalmente entre 10% y el 30% dependiendo de la aplicación.

$$PA \text{ (kW)} = \frac{\text{Masa (kg)} \cdot \text{Calor específico} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}}{\text{Tiempo de calentamiento (seg)}} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

$$PB \text{ (kW)} = \frac{\text{Masa (kg)} \cdot \text{Calor de vaporización} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{\text{Tiempo de calentamiento (seg)}} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

$$PC \text{ (W)} = \frac{\text{Conductividad térmica} \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot \text{Superficie (m}^2\text{)} \cdot \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}}{\text{Espesor del aislamiento (m)}} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

### **Factores que influyen en la determinación del elemento calefactor (resistencia)**

- Temperatura de trabajo.
- Densidad de carga máxima admisible.
- Consideraciones mecánicas.
- Factores ambientales.
- Factores de seguridad.

### **Determinación del elemento calefactor**

- Tipo, tamaño y cantidad

### **Determinación de los elementos de control y seguridad**

- Tipo y posición.

### **Cálculo de la potencia de debido al calor sensible (PA)**

Con la experimentación se determinará la masa del sólido húmedo (inicial) y las temperaturas iniciales y finales durante el proceso de secado. Para determinar el calor sensible se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q_s = m_h \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{J}) \quad \text{Ec. (2.10)}$$

$$P_A = \frac{Q_s}{t} \quad (\text{W}) \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Donde

$P_A$ : Potencia debido al calor sensible (W)

$Q_s$ : Calor sensible (J)

$m_h$ : Masa húmeda (kg)

$C_p$ : Calor específico del material (kJ/kg.°K) (valor de los monómeros aprox. 1)

$T_i$ : Temperatura inicial antes de encender el secador (°K)

$T_f$ : Temperatura final a la que se encuentra el secador (°K)

$t$ : Tiempo de calentamiento (seg)

### **Cálculo de la potencia debido al calor latente de vaporización (PB)**

Mediante la experimentación, se tabularán datos de masa inicial y final, pues estos valores permitirán calcular el calor de vaporización requerido para secar el cliché, para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes pasos:

Determinar la masa del sólido húmedo ( $m_{sh}$ ), de forma experimental.

Determinar la masa del sólido seco ( $m_{ss}$ ), de forma experimental.

Calcular la masa de la mezcla (mh) del solvente a evaporar que es la diferencia de las dos anteriores.

$$mh = msh - mss \quad (\text{g}) \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Determinar la densidad del percloroetileno y del n butanol, ver en tablas. (dp y db) expresada en unidades de  $\text{g/cm}^3$ .

$$dp = 1,62 \text{ g/cm}^3 \quad \text{a } 20^\circ\text{C}$$

$$db = 0,81 \text{ g/cm}^3 \quad \text{a } 20^\circ\text{C}$$

Calcular la masa de cada solvente, según ecuación.

$$mp = 3 \cdot V \cdot dp \quad (\text{g}) \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$mb = V \cdot db \quad (\text{g}) \quad \text{Ec. (2.14)}$$

Determinar el peso molecular del percloroetileno y del n butanol, según hojas técnicas de los productos.

$$pmp = 165,89 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$pmb = 74,12 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Calcular el número de moles de cada solvente (n).

$$np = \frac{mp}{pmp} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

$$nb = \frac{mb}{pmb} \quad \text{Ec. (2.16)}$$

Calcular las fracciones molares de los solventes (fm).

$$fmp = \frac{np}{(np+nb)} \quad \text{Ec. (2.17)}$$

$$f_{mb} = \frac{n_b}{(n_p+n_b)} \quad \text{Ec. (2.18)}$$

Determinar el calor latente de vaporización de cada uno de los solventes a 60°C, según hojas técnicas (Lv).

$$L_{vp} = 209 \frac{\text{kg}}{\text{kJ}}$$

$$L_{vb} = 590 \frac{\text{kg}}{\text{kJ}}$$

Calcular el calor latente de vaporización de la mezcla.

$$L_v \text{ mezcla} = (L_{vp} \cdot f_{mp}) + (L_{vb} \cdot f_{mb}) \quad \frac{\text{kg}}{\text{kJ}} \quad \text{Ec. (2.19)}$$

Calcular el calor de vaporización requerido para secar.

$$Q_L = m_h \cdot L_v \text{ mezcla} \quad (\text{J}) \quad \text{Ec. (2.20)}$$

$$P_B = \frac{Q_L}{t} \quad (\text{W}) \quad \text{Ec. (2.21)}$$

### Cálculo de la pérdida de calor

Para calcular las pérdidas de calor debido a las paredes de los materiales del secador, los cuales son determinados mediante las leyes de la termodinámica, en la figura 2.12 se muestra las paredes de los materiales.

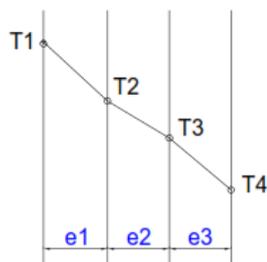


Figura 2.12. Circuito básico de pérdidas de calor  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

$$Q = \frac{T_i - T_f}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (\text{W}) \quad \text{Ec. (2.22)}$$

$$R = \frac{\text{espesor de pared}}{K \cdot A} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad \text{Ec. (2.23)}$$

Donde

Pc: Pérdida de potencia debido al aislante térmico (W).

Q<sub>p</sub>: Calor (W).

T<sub>i</sub>: Temperatura dentro del hogar (°C).

T<sub>f</sub>: Temperatura exterior (°C).

R<sub>1</sub>: Resistencias térmicas debida al material pared interna (°C/W).

R<sub>2</sub>: Resistencias térmicas debida al material aislante medio (°C/W).

R<sub>3</sub>: Resistencias térmicas debida al material pared externa (°C/W).

K: Coeficiente de conductividad térmica de los materiales (W/m.°C).

A: Superficie de las paredes (m<sup>2</sup>).

e: Espesor del aislante térmico (m).

t: Tiempo que dura el secado (s).

**Calcular el área del material a secar (m<sup>2</sup>)**

$$A = \sum A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 \quad \text{m}^2 \quad \text{Ec. (2.24)}$$

**Calcular el flujo de calor respecto al tiempo a secar (F)**

$$F = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \quad \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \quad \text{Ec. (2.25)}$$

Calcular la resistencia eléctrica que se empleará (R), mediante la ecuación:

$$R = \frac{V^2}{P} \frac{\text{VOLTAJE}}{\text{POTENCIA}} \quad \Omega \quad \text{Ec. (2.26)}$$

Calcular el diámetro del alambre con el cual se construirá la resistencia eléctrica, mediante la ecuación Herrejon, Escutia. (2011):

$$d = 0,74 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot \rho \cdot Ct}{V^2 \cdot \sigma}} \quad \text{cm} \quad \text{Ec. (2.27)}$$

Donde

d: Diámetro del alambre (cm).

P: Potencia (W).

V: Voltaje a la que va a trabajar la resistencia (V).

$\rho$ : Resistividad del material ( $\Omega$ -cm).

Ct: Coeficiente de resistividad que depende del material ( $\Omega$ .cm).

$\sigma$ : Carga específica ( $W/cm^2$ ).

Calcular la longitud de la resistencia, mediante la ecuación:

$$L = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \rho} \cdot R_{20} \quad \text{en m.} \quad \text{Ec. (2.28)}$$

Donde

L: Longitud de la resistencia (m).

d: Diámetro del alambre expresado en (cm).

$\rho$ : Resistividad del material ( $\Omega$ -cm).

R20: Resistencia calculada y referido a 20°C ( $\Omega$ ).

### 2.3 Conclusiones del capítulo

- El proceso de secado es una operación unitaria de separación en la cual se puede separar total o parcialmente el líquido que contiene un sólido mediante el contacto con un gas caliente.
- El aire caliente cede calor al sólido para que éste extraiga su humedad contenida.
- La finalidad del proceso de secado en general es el de: facilitar el manejo posterior del producto, permitir el empleo satisfactorio del sólido, incrementar la utilidad de los productos, reducir el costo del transporte, preservar los productos durante el almacenamiento.
- En este estudio la transferencia de calor se realiza por el mecanismo de la convección y consiste en hacer pasar una corriente de gas (aire) caliente a través de la superficie del sólido. El aire caliente se utiliza para transferir calor al sólido y eliminar el vapor formado.
- En este capítulo se exponen los conocimientos teóricos por diversos autores en temas de cliché, secado, radiación solar, resistencias eléctricas, aislantes térmicos, ventiladores y otros que permitirán tener criterio para la determinación de:
  - Tipo de secador y la tecnología de fabricación.
  - Manera de obtener energía solar y su almacenamiento.
  - Tipo de resistencia eléctrica.
  - Aislante térmico adecuado.
  - Equipo para extraer los gases del hogar del secador.
  - Sistema de control del secador.

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

#### **3.1 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación debe ser planificada y concisa de lo que se debe realizar, para lograr los objetivos del estudio.

##### **3.1.1 Modalidad de la investigación**

El trabajo está enfocado en un proyecto factible debido a la propuesta de solución del problema. En consecuencia el trabajo está apoyado en una investigación descriptiva, bibliográfica y de campo, tomando como base la empresa Evolution Flex S.A, en la cual se desarrolla el secado de clichés.

##### **3.1.2 Tipo de investigación**

El tipo de investigación permitirá definir las técnicas y métodos a emplear, siendo descriptiva, bibliográfica y de campo.

La investigación **descriptiva**, se relata los hechos observados en el secado de clichés.

**Con la investigación bibliográfica**, se consultaron libros relacionados a la operación unitaria del secado, tales como McCabe, Perry y Geankoplis, se revisó artículos sobre planchas fotopolímeras de fabricantes Nyloflex y Dupont; ésta información permitirá conocer los diferentes procesos de secado de los materiales en general y específicamente sobre el secado de clichés.

**Investigación de campo**, se solicitó a la empresa Evolution Flex S.A, que proporcionen los datos de la producción de los clichés de los años, 2011, 2012 y del 2013 hasta el mes de octubre, especificando los diferentes espesores de los clichés; posteriormente estos datos fueron tabulados y analizados con el propósito de

determinar la mejor opción para la propuesta de tecnología de fabricación, tomando como objeto de análisis los secadores EH001 y EH002 que dispone la empresa.

### 3.1.3 Metodología

El método de investigación a usar es experimental, pues se va a observar los fenómenos relacionados a secado de materiales en su contexto natural, para después analizarlos y determinar su consumo energético eléctrico.

Es cuantitativo ya que la aplicación de los instrumentos utilizados en la experimentación, permitió obtener la información numérica que luego fue analizada mediante gráficas y registros estadísticos, posteriormente se determinará el tiempo de secado, la masa de solvente extraído, el calor y la energía eléctrica que se requiere para el secado del cliché.

El objetivo es explicar, predecir y controlar todos los parámetros que influyen en el desarrollo del secado del cliché. Se propondrá explicaciones contextualizadas de los métodos que se utilizarán en la investigación, para solucionar el problema.

### 3.2 Operacionalización de las variables

**Tabla 3.1. Operacionalización de la variable independiente**

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: Capacidad de secado de clichés de los secadores EH001 y EH002</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Item</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Medida de la capacidad calórica y eléctrica de los secadores para extraer la humedad ligada al cliché en un tiempo determinado.	Cantidad de clichés secados	Producción	cm <sup>2</sup> /año	Datos estadístico	Computador
	Parámetros operativos	Tiempo de secado del cliché	hora (h)	Medición	Relojes
		Peso del cliché	gr	Medición	Balanza
		Temperatura del hogar del secador	°C	Medición	Termómetros analógicos, digitales y fichas de observación

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>	<b>Capacidad de secado de clichés de los secadores EH001 y EH002</b>				
Medida de la capacidad calórica y eléctrica de los secadores para extraer la humedad ligada al cliché en un tiempo determinado.	Dimensión de los secadores y clichés	Tamaño de los secadores	m <sup>2</sup>	Medición	Flexómetro
		Espesor de materiales	mm	Medición	Calibrador
	Energía requerida	Potencia eléctrica para calentar el hogar del secador	W	Cálculos	Ecuaciones

Autor: Cartagena Miguel (2013)

**Tabla 3.2. Operacionalización de la variable dependiente**

<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>	<b>Eficiencia energética en el secado de clichés</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Item</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Parte de la energía calórica y eléctrica que consumen los secadores	Rendimiento de los secadores	Calor útil obtenido	kJ	Cálculos	Ecuaciones
		Potencia eléctrica consumida	W	Cálculos	Ecuaciones
		Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Autor: Cartagena Miguel (2013)

### 3.3 Población y muestra

Se considera como población a los secadores eléctricos infrarrojos eléctricos de cliché EH001 y EH002 que actualmente dispone la empresa Evolution Flex S.A.

La muestra son los fotopolímeros procesados en las diferentes experimentaciones en los secadores EH001 y EH002 que se realizarán con el propósito de determinar la cantidad de calor requerido para el secado del cliché.

### 3.4 Delimitación de la zona de estudio

La empresa Evolution Flex S.A, se encuentra ubicada geográficamente en las siguientes coordenadas: latitud  $-0.23898^{\circ}$  y de longitud  $-78.50599^{\circ}$ , medición que fue realizada con GPS marca Garmin Nuvi 52. En la figura 3.1 se indica mediante la flecha verde la localización de la empresa Evolution Flex S.A, y el lugar en el cual se instalaría los paneles solares para la generación de la energía eléctrica, el espacio físico disponible es de 3 x 5,2 metros, siendo el área de 15,6 m<sup>2</sup>.



Figura 3.1. Ubicación de la empresa Evolution Flex. S.A.  
Fuente: Google earth (2013)

### **3.5 Técnicas de investigación y análisis**

La recolección de datos fue realizada mediante diferentes técnicas e instrumentos entre las que sobresalen:

#### **Observación directa**

Esta técnica se empleó para conocer el funcionamiento de los secadores que intervienen en la investigación del presente trabajo, de igual manera esta técnica permitió visualizar el estado físico de los equipos que dispone la empresa Evolution Flex S.A. Esta observación es la base para el diagnóstico de la situación actual.

#### **Recolección de datos**

Los datos históricos de producción de clichés y el tiempo que toma el secar el material fueron proporcionados por la empresa Evolution Flex S.A, además los datos de mediciones de variables, masa, temperatura, velocidad, humedad y dureza del cliché, fueron recolectados en campo con los instrumentos de medida que se alquilaron.

### 3.6 Datos de producción de clichés y secado en EH001 y EH002

Se ha recopilado información estadística de los centímetros cuadrados de cliché producidos en los tres últimos años por la empresa Evolution Flex S.A.

Tabla 3.3. Producción de clichés tres últimos años

CLICHES SECADOS (cm <sup>2</sup> )				
TIPO DE CLICHÉ	2011	2012	2013	CLICHÉ
45		339604,57	1567453,71	1907058,29
67	25339,22	119785,89	85746,33	230871,44
112	443885,66	2858538,41	3845863,69	7148287,76
155	579844,77	3791134,44	2534707,97	6905687,18
TOTAL	1049069,65	7109063,30	8033771,71	16191904,67

Autor: Cartagena Miguel (2013)

### 3.7 Instrumentos utilizados en la experimentación

En la tabla 3.4 se indica los instrumentos y equipos utilizados en las experimentaciones, mientras que en la figura 3.2 se presenta imágenes de los instrumentos que sirvieron para la toma de datos experimentales en la presente tesis.

Tabla 3.4. Instrumentos utilizados en las experimentaciones

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	MARCA	MODELO
LAPTOP	DELL	INSPIRON
ANEMÓMETRO	PROSKIT	MT-4005
TERMÓMETRO INFRARRROJO	FLUKE	572-2
BALANZA	OHAUS	NAVIGATOR
DURÓMETRO	PROCEQ	AQUOTIP BAMBINO 2
HYGRÓMETRO	ELCOMETER	319/2
AMPERÍMETRO	PROSKIT	
FLEXOMETRO	STANLEY	

Autor: Cartagena Miguel (2013)



Figura 3.2. Imágenes de los instrumentos de medición  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

### Especificaciones técnicas de los instrumentos

Se describe de manera tabulada las principales características de los instrumentos utilizados ver tablas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10.

Tabla 3.5. Características de equipos de computación y software

EQUIPOS DE COMPUTACIÓN Y SOFTWARE	
Laptop, marca DELL, modelo Inspiron N4110 con procesador Intel Core i7.	
Microsoft Office 2010: Word, Excel y Power Point.	
SOFTWARE: AUTOCAD 2013, versión español.	
SOFTWARE: HYSYS V 7.1	
SOFTWARE: ANSYS V 15.0	

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 3.6. Características del anemómetro

ANEMÓMETRO PROSKIT MT-4005	
Precisión: Exactitud fijada en	23°C ± 5°C, <75% R.H.
Sensor: Sensor de temperatura	
Diapasón:	-20°C hasta 60°C, -4°F hasta 140°F
Capacidad resolutive:	0.1°C, 0.1°F
Exactitud:	± 0.5°C hasta 0°C hasta 45°C
Capacidad resolutive:	0.01 m/seg

Fuente: Hoja de especificaciones del equipo

Tabla 3.7. Características de termómetro infrarrojo

<b>TERMÓMETRO INFRARROJO FLUKE</b>	
Rango de temperaturas infrarrojas	-30 °C a 900 °C (de -22 °F a 1652 °F)
Exactitud IR (geometría de calibración con temperatura ambiente de 23 °C ±2 °C)	≥ 0 °C: ± 1 °C o ± 1 % de la lectura, lo que sea mayor
	≥-10 °C a <0 °C: ±2 °C
	< -10 °C: ±3 °C
	≥32 °F: ± 2 °F o ± 1 % de la lectura, lo que sea mayor
	≥14 °F a <32 °F: ±4 °F
	<14 °F: ±6 °F
Repetición IR	±0,5 % de la lectura o ±0,5 °C (±1 °F), lo que sea mayor
Resolución de la pantalla	0,1 °C (0,1 °F)
Distancia: puntual	60:1 (calculado al 90 % de energía)
Tamaño mínimo del punto	19 mm
Enfoque láser	Láser doble con desplazamiento, salida <1 mW
Respuesta espectral	8 μm a 14 μm
Tiempo de respuesta (95 %)	< 500 ms
Emisividad	Ajustable 0.10 a 1 de 0,01 o por tabla integrada de materiales

Fuente: Hoja de especificaciones del equipo

Tabla 3.8. Características de la balanza

<b>BALANZA NAVIGATOR</b>	
Capacidad (g)	210
Sensibilidad (g)	0.01 - 0.5
Linealidad (g)	±0.2
Masas para calibración Span	200 g
Efecto máximo de tara (substractiva) (g)	210
División de tara (dT) (g)	0.01
Dimensiones del plato (A x L) (cm)	19 X 13.8
Dimensiones de la balanza (A x L x H) (cm)	20.4 X 21.2 X 5.8

Fuente: Hoja de especificaciones del equipo

Tabla 3.9. Características del durómetro

DURÓMETRO EQUOTIP	
Rango de medición	250-970 HLDL
Dimensiones del instrumento	203 X 44 X 20 mm
Peso del instrumento	152 g
Conversiones	80-955 HV, 81-678 HB, 20-70 HRC, 38-102 HRB, 30-100 HS
Resolución	1 HLD / HLDL, 1 HV, 1 HB, 0.1 HRB, 0.1 HS
Precisión de medición	± 4 HLD / HLDL (0.05% a 800 HLD / HLDL)
Dureza máxima de ensayo	890 HLD (955 HV, 68 HRC)
Energía / dirección de impacto	Compensación automática / 11 Nmm
Sonda de punta	Carburo de tungsteno (aprox. 1500 HV), ~ 3mm
Carcasa	Aleación de cobre de recubrimiento duro
Memoria integrada	RAM de 32 kBytes, ~ 2000 valores medidos
Condiciones de funcionamiento	Temperatura: -10 a 60 °C, Humedad: 90% max.

Fuente: Hoja de especificaciones del equipo

Tabla 3.10. Características del higrómetro

HYGROMETRO ELCOMETER	
Rango de Temperatura del Aire (Ta)	-20 a 80°C (-4 a 176°F)
Precisión Ta	±0.5°C (±1°F)
Resolución Ta	0.1°C (0.1°F)
Rango de Temperatura de Superficie (Ts)	-20 a 80°C (-4 a 176°F)
Precisión Ts	±0.5°C (±1°F)
Resolución Ts	0.1°C (0.1°F)
Rango de Temperatura Externa Tipo K (Te)	-40 a 200°C (-40 a 392°F)
Precisión Te	±0.5°C (±1°F)
Resolución Te	0.1°C (0.1°F)
Rango de Humedad Relativa (HR)	0 a 100% RH
Precisión HR	±3% RH
Resolución HR	0.1%
Temperatura de Operación del Medidor y la pantalla LCD	-20 a 80°C (-4 a 176°F)
Dimensiones	180 x 75 x 35mm (7 x 3 x 1.4")
Peso	300g (10.6oz)
Tipo de Pila	Pilas 2 x AA 1.5V o via Cable USB

Fuente: Hoja de especificaciones del equipo

### **3.8 Planificación de la experimentación**

Para la investigación de campo, se planificó realizar dos experimentaciones en distintas fechas, con el objeto de observar el proceso de secado de los clichés, procesando muestras de clichés que fueron lavados con la mezcla de químico percloroetileno – n butanol y obtener información de parámetros involucrados en el secado.

#### **Primera experimentación**

Fecha:

- 6 de mayo de 2013

Equipos usados para el secado:

- Secador EH001.
- Secador EH002.

Instrumentos de medición:

- Termómetro infrarrojo.
- Higrómetro digital.
- Reloj digital.
- Anemómetro digital.
- Durómetro digital.

Información recolectada:

- Temperatura en °C.
- Humedad relativa.

- Velocidad de extracción de gases en m/s.
- Dureza del cliché en escala Shore A.

Muestra:

- Cliché de fabricante Nyloflex, ver tabla 3.8

Tabla 3.11. Muestras de fotopolímeros

MUESTRAS PARA EXPERIMENTACIÓN		
FABRICANTE: Nyloflex		
FECHA EXPERIMENTACIÓN: 6 de mayo de 2013		
Tipo de cliché	Muestra	Dimensiones (cm)
45	M1	3,30 · 9,70
	M2	4,50 · 6,00
67	M3	3,70 · 4,50
	M4	4,60 · 6,20
112	M5	8,80 · 13,20
	M6	9,70 · 10,00
155	M7	8,50 · 13,00
	M8	10,00 · 10,00

Fuente: Evolution Flex S.A. & Cartagena Miguel (2013)

### Procedimiento del experimento.

Identificación de las planchas fotopolímeras

Grabado de imagen

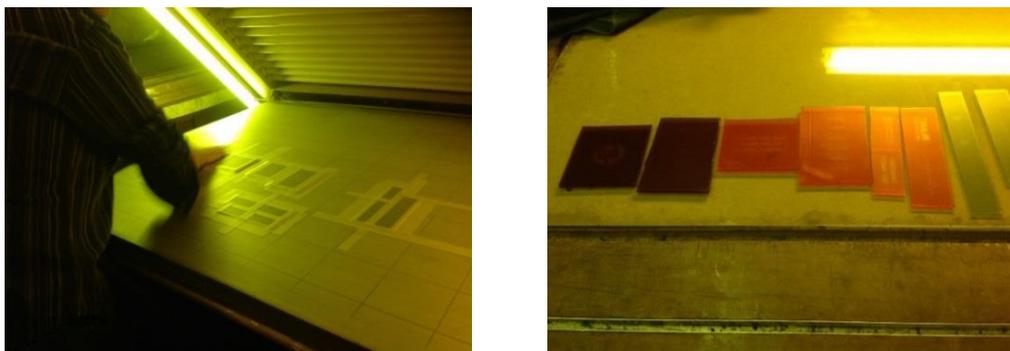


Figura 3.3. Grabado de imagen

Fuente: Empresa Evolution Flex S.A. & Cartagena Miguel (2013)

Lavado del cliché

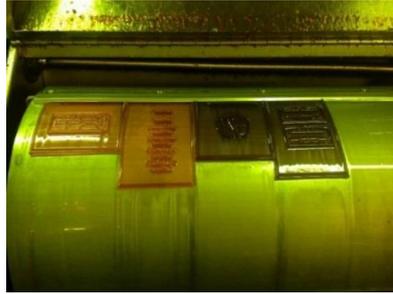


Figura 3.4. Lavado del fotopolímero  
Fuente: Empresa Evolution Flex S.A. (2013)

Secado de los clichés



Figura 3.5. Secado del fotopolímero, medición de: humedad y tiempo  
Fuente: Empresa Evolution Flex S.A. (2013)

### Registro de parámetros de temperatura y humedad relativa

Tabla 3.12 Valores de temperatura y humedad relativa en secador EH001

HORNO EH001	
TEMPERATURA °C	H.R (%)
30,00	24,00
41,00	13,00
43,00	11,00
49,00	10,30
50,00	9,30
51,00	8,50
52,00	8,30
52,50	8,30
53,00	8,30
53,20	8,30

Autor: Cartagena Miguel (2013)

En el secador EH002 se realizaron lecturas de temperatura y de humedad interna con clichés que se encontraban en el proceso normal de secado, al equipo se lo dividió por zonas con el propósito de tabular los datos, ver figura 3.6.

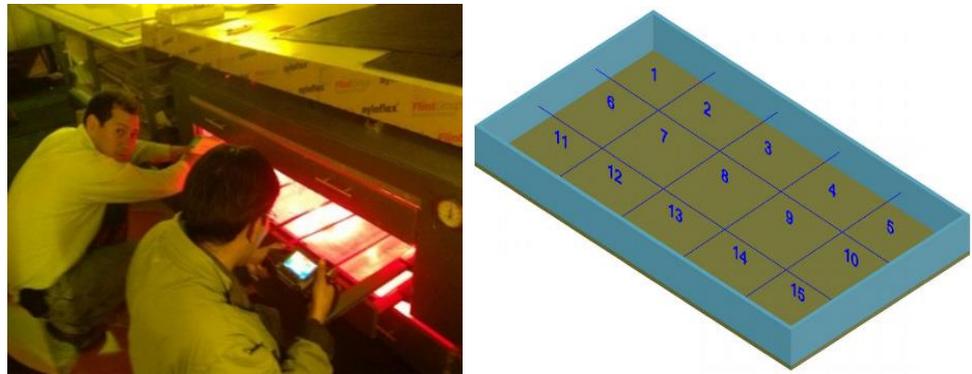


Figura 3.6. Medición de temperatura por zonas EH002  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

Los valores medidos se encuentran representados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Valores de temperatura EH002

TEMPERATURA (° C) EH002							
MEDICIÓN	1	2	3	4	5	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
ZONA 1	59,50	59,30	62,00	59,00	60,70	1,24	60,10
ZONA 2	62,70	63,40	64,00	65,90	65,30	1,32	64,26
ZONA 3	69,00	71,50	72,90	70,60	73,80	1,89	71,56
ZONA 4	68,90	67,40	68,50	67,80	65,20	1,44	67,56
ZONA 5	68,10	67,00	62,50	65,00	67,80	2,34	66,08
ZONA 6	64,50	63,20	59,20	64,90	65,20	2,47	63,40
ZONA 7	63,30	62,90	61,80	69,00	64,60	2,80	64,32
ZONA 8	65,60	71,90	66,70	68,00	65,60	2,62	67,56
ZONA 9	62,50	62,70	62,30	61,70	60,40	0,93	61,92
ZONA 10	69,00	66,90	67,60	68,60	65,00	1,58	67,42
ZONA 11	63,70	66,90	63,90	67,30	57,90	3,76	63,94
ZONA 12	63,10	58,55	61,20	59,70	59,30	1,81	60,37
ZONA 13	64,10	63,60	68,40	69,40	68,30	2,70	66,76
ZONA 14	60,10	59,70	59,10	57,30	57,90	1,19	58,82
ZONA 15	64,90	68,20	69,50	65,00	65,90	2,05	66,70
						3,86	65,30

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Durante la experimentación se registró la velocidad de extracción de gases, el cual fue de 4 m/s, siendo esta constante.



Figura 3.7. Medición de velocidad de extracción de gases

Autor: Cartagena Miguel (2013)

### **Registro de dureza de los clichés, piso y relieve.**

La medición de dureza en el cliché es un parámetro muy importante, por cuanto de este depende la duración del fotopolímero y representa la presión que existe entre el cliché y los rodillos de impresión (anilox).

Las pruebas de dureza se realizaron con el objeto de analizar el comportamiento del mismo en las diferentes etapas de obtención de la matriz fotopolímera, debo aclarar que el fabricante únicamente dá el valor inicial de la plancha fotopolímera y no en las diferentes etapas, sin embargo es un valor muy importante a considerar.

La dureza se midió con el equipo Equotip Bambino 2, en escala Sh A, la cual no permite dejar huella en el material ensayado y es el único método de los ensayos no destructivos para medir dureza. En la figura 3.8 se muestra la imagen de medición.



Figura 3.8 Medición de dureza después del secado

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 3.14. Dureza en el piso y en cada proceso del cliché

MUESTRA NYLOFLEX PROCESO DEL CLICHÉ	DUREZA (Sh A)			
	45	67	112	155
SEGÚN FABRICANTE	72,00	61,00	52,00	33,00
A. EXPOSICIÓN	72,20	63,64	60,30	57,12
D. EXPOSICIÓN	72,68	66,80	64,28	59,42
D. LAVADO PISO	46,46	38,80	37,20	31,48
D. SECADO PISO	55,28	47,12	38,88	39,06
D. EXPOSICIÓN FINAL PISO	42,88	46,04	34,46	37,56

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 3.15 Dureza en el relieve y en cada proceso del cliché

MUESTRA NYLOFLEX PROCESO DEL CLICHÉ	DUREZA (Sh A)			
	45	67	112	155
SEGÚN FABRICANTE	72,00	61,00	52,00	33,00
A. EXPOSICIÓN	72,20	63,64	60,30	57,12
D. EXPOSICIÓN	72,68	66,80	64,28	59,42
D. LAVADO RELIEVE	40,60	52,62	44,16	33,76
D. SECADO RELIEVE	55,90	59,14	52,60	35,32
D. EXPOSICIÓN FINAL RELIEVE	48,04	57,36	55,26	43,80

Autor: Cartagena Miguel (2013)

### Segunda experimentación

Para la segunda experimentación se seguirá los siguientes pasos:

- Corte de la muestra.
- Grabado de imagen en la muestra.
- Lavado de la muestra.
- Peso inicial de la muestra.
- Ingreso de la muestra al secador EH001.
- Encendido del secador hasta 60°C por recomendaciones de los fabricantes.
- Medición de voltajes y corrientes del secador EH001.
- Medida de la velocidad de extracción de los gases.

- Toma de lecturas del peso de la muestra del cliché 45, 67, 112 y 155 cada cinco minutos hasta 2 horas.
- Procesamiento de los datos.
- Obtención de curvas de secado (masa vs tiempo).

### **Datos del experimento**

En el segundo experimento se realizaron otras pruebas con el objeto de obtener datos de peso en gr, temperaturas de bulbo húmedo y seco en el transcurso del proceso de secado y en los diferentes tipos de cliché.

Fecha:

- 21 de junio de 2013

Equipos usados para el secado:

- Secador EH001.

Instrumentos de medición:

- Balanza digital.
- Reloj digital.

Información recolectada:

- Peso húmedo en gramos
- Peso semi húmedo en gramos
- Peso seco en gramos

Muestra:

- Cliché de fabricante Nyloflex, ver tabla 3.16

Tabla 3.16. Muestras de fotopolímeros

MUESTRAS PARA EXPERIMENTACIÓN		
FABRICANTE: Nyloflex		
FECHA EXPERIMENTACIÓN: 21 de junio de 2013		
Tipo de cliché	Muestra	Dimensiones (cm)
45	M1	63 · 72
67	M2	43 · 75
112	M3	72 · 110
155	M4	80 · 115

Fuente: Evolution Flex S.A. & Cartagena Miguel (2013)

En las imágenes de la figura 3.9, se muestran las muestras de los fotopolímeros que se utilizaron para la segunda experimentación, cabe indicar que los fotopolímeros son de diferentes espesores.



Figura 3.9. Imagen de las muestras

Fuente: Evolution Flex S.A. & Cartagena Miguel (2013)

En las imágenes expuestas en la figura 3.10, se aprecia la evidencia de las diferentes actividades desarrolladas en la fase experimental, partiendo desde el grabado, el lavado, el secado de los clichés hasta el peso del sólido.

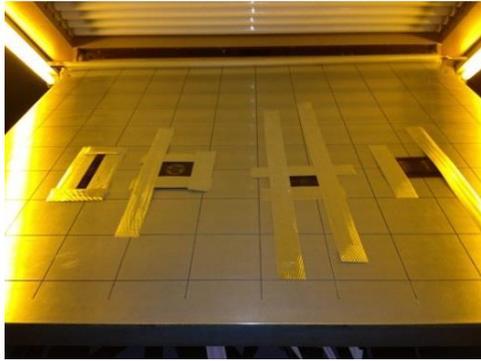


Figura 3.10. Actividades para obtener clichés  
Fuente: Evolution Flex S.A. & Cartagena Miguel (2013)

A continuación se detalla los valores registrados en los diferentes tipos de clichés en la segunda experimentación.

Tabla 3.17. Datos del peso, obtenidos en el cliché 45

PLANCHA 45 63 X 72 mm							
HORA	PESO (g)					DESVIACIÓN ESTANDAR	MASA EVAPORADA
	M1	M2	M3		PROMEDIO		
7:13:50	6,40	6,41	6,40	7:18:50	6,40	0,01	0,00
7:18:50	5,32	5,30	5,29	7:18:50	5,30	0,02	1,10
7:23:50	4,41	4,40	4,38	7:23:50	4,40	0,02	2,01
7:31:50	4,22	4,19	4,19	7:31:50	4,20	0,02	2,20
7:36:33	4,01	4,00	3,99	7:36:33	4,00	0,01	2,40
7:41:37	3,90	3,92	3,89	7:41:37	3,90	0,02	2,50
7:47:05	3,81	3,80	3,80	7:47:05	3,80	0,01	2,60
7:53:32	3,71	3,70	3,70	7:53:32	3,70	0,01	2,70
8:02:32	3,62	3,60	3,58	8:02:32	3,60	0,02	2,80
8:07:52	3,61	3,60	3,58	8:07:52	3,60	0,02	2,81
8:13:25	3,50	3,50	3,49	8:13:25	3,50	0,01	2,91
8:18:51	3,50	3,50	3,49	8:18:51	3,50	0,01	2,91
8:23:27	3,50	3,50	3,49	8:23:27	3,50	0,01	2,91
8:28:30	3,50	3,50	3,49	8:28:30	3,50	0,01	2,91
8:33:03	3,50	3,50	3,49	8:33:03	3,50	0,01	2,91
8:39:56	3,50	3,50	3,49	8:39:56	3,50	0,01	2,91
8:46:26	3,50	3,50	3,49	8:46:26	3,50	0,01	2,91
8:50:01	3,50	3,50	3,49	8:50:01	3,50	0,01	2,91
8:55:01	3,50	3,50	3,49	8:55:01	3,50	0,01	2,91
9:00:02	3,50	3,50	3,49	9:00:02	3,50	0,01	2,91
9:06:00	3,50	3,50	3,49	9:06:00	3,50	0,01	2,91
9:10:04	3,50	3,50	3,49	9:10:04	3,50	0,01	2,91
9:15:01	3,50	3,50	3,49	9:15:01	3,50	0,01	2,91
9:20:15	3,50	3,50	3,49	9:20:15	3,50	0,01	2,91
9:24:40	3,50	3,50	3,49	9:24:40	3,50	0,01	2,91
9:30:02	3,50	3,50	3,49	9:30:02	3,50	0,01	2,91

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 3.18. Datos del peso, obtenidos en el cliché 67

PLANCHA 67 43 x 75 mm						
HORA	PESO (g)				DESVIACIÓN ESTANDAR	MASA EVAPORADA
	M1	M2	M3	PROMEDIO		
7:13:40	14,52	14,50	14,47	14,50	0,03	0,00
7:18:40	11,72	11,70	11,67	11,70	0,03	2,80
7:23:40	10,42	10,40	10,38	10,40	0,02	4,10
7:31:40	9,91	9,90	9,89	9,90	0,01	4,60
7:37:00	9,71	9,70	9,70	9,70	0,01	4,79
7:41:50	9,62	9,60	9,58	9,60	0,02	4,90
7:47:35	9,51	9,50	9,49	9,50	0,01	5,00
7:54:10	9,42	9,40	9,39	9,40	0,02	5,09
8:02:45	9,31	9,30	9,30	9,30	0,01	5,19
8:08:16	9,31	9,30	9,30	9,30	0,01	5,19
8:13:43	9,22	9,20	9,19	9,20	0,02	5,29
8:19:11	9,22	9,20	9,19	9,20	0,02	5,29
8:23:47	9,22	9,20	9,19	9,20	0,02	5,29
8:28:48	9,22	9,20	9,19	9,20	0,02	5,29
8:33:49	9,12	9,10	9,09	9,10	0,02	5,39
8:40:16	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
8:46:46	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
8:50:20	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
8:55:43	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
9:00:19	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
9:06:19	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
9:10:20	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
9:15:19	9,11	9,10	9,09	9,10	0,01	5,40
9:20:30	9,01	9,00	9,00	9,00	0,01	5,49
9:25:05	9,01	9,00	9,00	9,00	0,01	5,49
9:30:19	9,01	9,00	9,00	9,00	0,01	5,49

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 3.19. Datos del peso, obtenidos en el cliché 112

PLANCHA 112 72 x 110 mm						
HORA	PESO (g)				DESVIACIÓN ESTANDAR	MASA EVAPORADA
	M1	M2	M3	PROMEDIO		
7:13:20	21,41	21,40	21,40	21,40	0,01	0,00
7:18:20	16,23	16,20	16,18	16,20	0,03	5,20
7:23:20	15,02	15,00	14,98	15,00	0,02	6,40
7:32:00	14,51	14,51	14,47	14,50	0,02	6,91
7:37:24	14,42	14,40	14,39	14,40	0,02	7,00
7:42:05	14,33	14,30	14,28	14,30	0,03	7,10
7:47:58	14,10	14,10	14,09	14,10	0,01	7,31
7:54:26	14,10	14,10	14,09	14,10	0,01	7,31
8:03:01	14,01	14,00	13,98	14,00	0,02	7,41
8:08:40	14,02	14,00	13,98	14,00	0,02	7,40
8:14:07	14,01	14,00	13,99	14,00	0,01	7,40
8:19:32	13,91	13,90	13,90	13,90	0,01	7,50
8:24:07	13,91	13,90	13,89	13,90	0,01	7,50
8:29:09	13,91	13,90	13,89	13,90	0,01	7,50
8:33:59	13,91	13,90	13,89	13,90	0,01	7,50
8:40:35	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
8:47:10	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
8:50:41	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
8:56:15	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
9:00:38	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
9:06:40	13,82	13,90	13,79	13,84	0,06	7,57
9:10:42	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
9:15:41	13,82	13,80	13,79	13,80	0,02	7,60
9:20:51	13,81	13,79	13,80	13,80	0,01	7,60
9:25:11	13,81	13,80	13,80	13,80	0,01	7,60
9:30:35	13,81	13,80	13,80	13,80	0,01	7,60

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 3.20. Datos del peso, obtenidos en el cliché 155

PLANCHA 155 80 x 115 mm						
HORA	PESO (g)				DESVIACIÓN ESTANDAR	MASA EVAPORADA
	M1	M2	M3	PROMEDIO		
7:13:00	36,11	36,10	36,09	36,10	0,01	0,00
7:18:00	25,21	25,20	25,20	25,20	0,01	10,90
7:23:00	23,52	23,50	23,49	23,50	0,02	12,60
7:32:20	22,91	22,90	22,90	22,90	0,01	13,20
7:37:45	22,61	22,60	22,58	22,60	0,02	13,50
7:42:25	22,51	22,50	22,49	22,50	0,01	13,60
7:48:22	22,32	22,30	22,28	22,30	0,02	13,80
7:54:42	22,31	22,30	22,30	22,30	0,01	13,80
8:03:43	22,11	22,10	22,10	22,10	0,01	14,00
8:08:56	22,11	22,10	22,09	22,10	0,01	14,00
8:14:34	22,11	22,10	22,09	22,10	0,01	14,00
8:20:01	22,10	22,10	22,09	22,10	0,01	14,00
8:24:32	22,01	22,00	21,98	22,00	0,02	14,10
8:29:33	22,01	22,00	21,98	22,00	0,02	14,10
8:34:24	21,92	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
8:41:03	21,91	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
8:47:39	21,91	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
8:51:00	21,92	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
8:56:30	21,92	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
9:00:56	21,92	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
9:07:06	21,92	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
9:11:05	21,92	21,90	21,88	21,90	0,02	14,20
9:15:57	21,81	21,80	21,79	21,80	0,01	14,30
9:21:04	21,81	21,80	21,79	21,80	0,01	14,30
9:26:13	21,81	21,80	21,79	21,80	0,01	14,30
9:30:49	21,81	21,80	21,79	21,80	0,01	14,30

Autor: Cartagena Miguel (2013)

### 3.9 Datos recopilados de la radiación solar en Quito – Ecuador

En la tabla 3.18 se muestran los datos estadísticos de la irradiación solar en la ciudad de Quito, durante 25 años en el centro de la ciudad y de 4 años en el norte, siendo la Fuente la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10, emitida por el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción.

Tabla 2.18. Irradiación en Quito

IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL EN QUITO Kw.h/m <sup>2</sup> . día		
SITIO	CENTRO	NORTE
LATITUD	0,22 S	0,13 S
LONGITUD	78,48 W	78,48 W
MSNM	2850	2812
AÑOS DE LECTURA	25	4
ENERO	4,48	4,94
FEBRERO	4,6	4,64
MARZO	4,68	4,78
ABRIL	4,35	4,53
MAYO	4,55	4,83
JUNIO	4,28	4,69
JULIO	5,22	5,53
AGOSTO	5,1	5,47
SEPTIEMBRE	5,11	4,89
OCTUBRE	4,68	5,25
NOVIEMBRE	4,39	5,15
DICIEMBRE	4,69	5,14
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,68</b>	<b>4,99</b>

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-10 (2013)

### 3.10 Método de análisis económico

El valor de la inversión se determina a partir del costo de los materiales y equipos adicionales necesarios, mano de obra utilizada y los equipos mecánicos que sirven para construcción del secador. También se considera el costo de los equipos que

permitirán generar energía eléctrica a través de celdas fotovoltaicas y sus respectivos elementos complementarios.

Para la evaluación económica se lo realizará de dos maneras: la primera sin considerar el aprovechamiento de la energía solar y la segunda aprovechando esa energía.

El cálculo de la recuperación de la inversión se calcula a partir del ahorro que se tendría por el no pago de horas adicionales al personal.

### **3.11 Conclusiones del capítulo**

- Las variables que intervienen en el proceso de secado, permitirá establecer los diferentes equipos que se requieren para las experimentaciones.
- El planteamiento de ciertas consideraciones para la experimentación, permitirá determinar las masas húmedas y secas, con las cuales se determinará la masa que se debe evaporar mediante el secado.
- Los datos recolectados a través de la observación en la empresa Evolution Flex S.A, proyectarán resultados importantes como son: la determinación de la insuficiente capacidad de los secadores EH001 y EH002 para el proceso de secado de los clichés.

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con los argumentos expuestos en el capítulo anterior, se analizará e interpretará los datos, los cuales permitirán conocer detalles del proceso de obtención de una matriz fotopolímera y en particular del proceso de secado.

#### 4.1 Análisis de la capacidad de los secadores de Evolution Flex S.A.

Para evaluar la capacidad de los secadores EH001 y EH002, se procesó los diferentes datos estadísticos que dispone la empresa en el transcurso de los años 2011, 2012 y hasta el mes de octubre del 2013. Con los valores de la tabla 3.1 se ha desarrollado la gráfica de la figura 4.1.

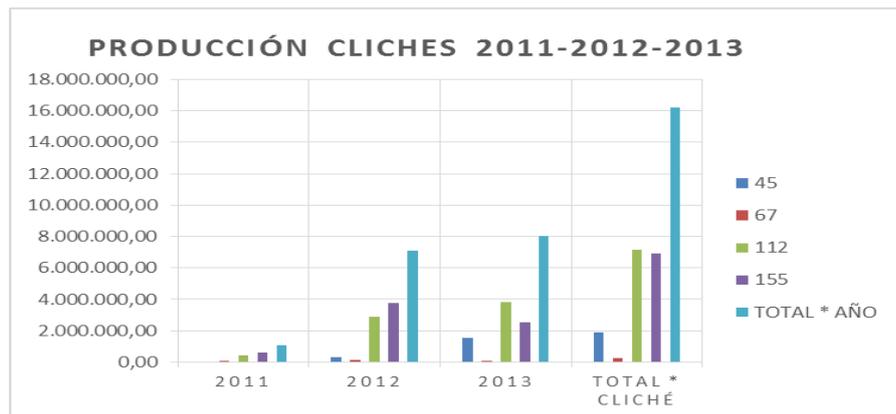


Figura 4.1. Producción de clichés por año

Fuente: Evolution Flex S.A. (2013)

Al observar la figura 4.1 se puede analizar e interpretar que la producción de los clichés 112 y 155 tuvieron mayor demanda en el transcurso de los tres años, en cambio el cliché 67 es el de menor producción, esta variación se debe principalmente a la aplicación que estos tienen, así mismo apreciamos que el cliché 45 ha tenido un repunte pasando del 0% en el 2011 al 5% en el 2012 y en el presente año al 19%, mientras que el cliché 112 en el 2013 ha pasado del 40 al 48% y el 155 ha decrecido de 53% al 32%, estas variaciones porcentuales se deben al incremento en la demanda por parte de los clientes de la empresa.

Con los valores de producción, se ha desarrollado la tabla 4.1 y la figura 4.2 en la que se presenta la cantidad de horas por día promedio que se usa para el secado en los secadores que dispone la empresa. El cálculo se lo realizó de la siguiente forma: la cantidad de cliché secado en el año se multiplicó por el tiempo que toma en secar cada tipo de cliché y luego se divide para la capacidad de los secadores EH001 y EH002 (superficie total de 22.120 cm<sup>2</sup>), obteniéndose el número de horas en el año por cada tipo de clichés, posteriormente se suman los resultados parciales en cada año y se dividió para los 260 días del año laborables, teniendo como resultado final el número de horas promedio en el día.

Tabla 4.1. Número de horas día, usados en los secadores de Evolution Flex S.A

EVALUACION CAPACIDAD SECADORES EH002 Y EH001				
Capacidad de los secadores EH001 y EH002 (cm <sup>2</sup> ):				22.350,00
CLICHÉ	Tiempo de secado (h)	2011 horas/año	2012 horas/año	2013 horas/año
45	1	0,00	15,19	70,13
67	1	1,13	5,36	3,84
112	2	39,72	255,80	344,15
155	2	51,89	339,25	226,82
Total horas al año		92,74	615,60	644,94
horas por día		0,36	2,37	2,48

Autor: Cartagena Miguel (2013)



Figura 4.2. Número de horas por día (promedio), usados en el secado  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

En el 2011 el número de horas por día era relativamente bajo (0,36), a partir del 2012 el promedio de horas se ha incrementado a (2,39) y en el 2013 hasta el mes de octubre a (2,51) veces.

Como se puede apreciar la producción de clichés se incrementa en el transcurso del tiempo y a decir por los representantes de Evolution Flex S.A, la empresa no ha incrementado la capacidad de secado, y es por esta razón que se planteó la construcción de un nuevo secador que venga a cubrir la demanda insatisfecha, con ello la empresa ahorre recursos económicos en la mano de obra y en energía.

Los secadores que dispone la empresa actualmente tienen una capacidad de secado de 22.350 cm<sup>2</sup>, como se puede apreciar en la tabla 4.2 y en la figura 4.3.

Tabla 4.2. Capacidad de secadores

CAPACIDAD DE LOS SECADORES ACTUALES			
	longitud cm	ancho cm	área cm <sup>2</sup>
BANDEJA EH001	70,00	40,00	2800,00
BANDEJA EH002	170,00	115,00	19550,00
<b>TOTAL</b>			<b>22350,00</b>

Autor: Cartagena Miguel (2013)

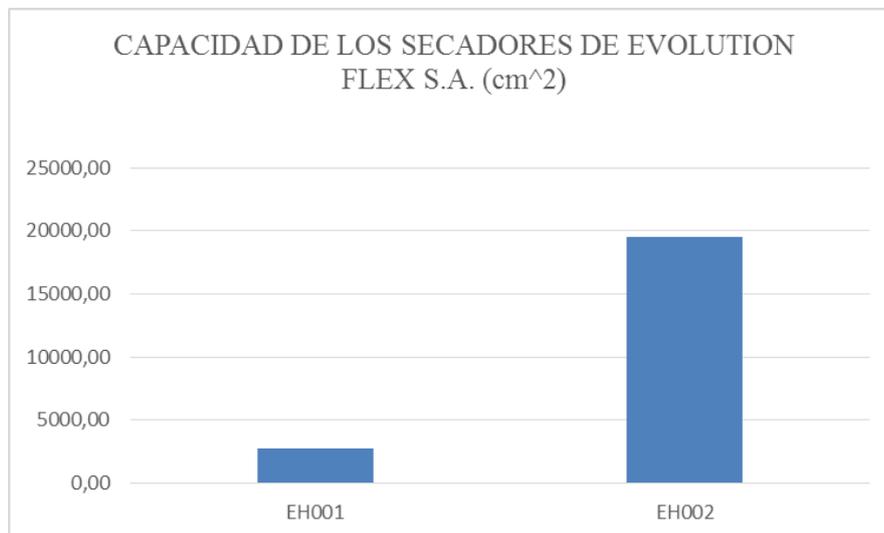


Figura 4.3. Capacidad de los secadores de la empresa  
Fuente: Evolution Flex S.A. (2013)

Tabla 4.3. Potencia de los secadores

POTENCIA DE LOS SECADORES DE EVOLUTION FLEX S.A.				
	UNIDAD	CANTIDAD	POTENCIA U.	POTENCIA T.
LAMPARAS INFRARROJAS EH001	W	6	200	1200
LAMPARAS INFRARROJAS EH002	W	10	250	2500
EXTRACTOR EH001	W	1	150	150
EXTRACTOR EH002	W	1	250	250
POTENCIA TOTAL	W			<b>3850</b>

Autor: Cartagena Miguel (2013)

## 4.2 Evaluación de los datos de los experimentos

### Primera experimentación

De la primera experimentación se interpreta que se realizó una evaluación a los secadores que dispone la empresa, en los parámetros de temperatura, humedad y dureza del cliché secado.

Con los datos obtenidos de la experimentación en el secador EH001, se elaboró un gráfico humedad temperatura (figura 4.4) y al analizar la misma se interpreta que la humedad disminuye cuando la temperatura se incrementa en el tiempo, esto se debe básicamente porque se está extrayendo la humedad del aire y del solvente percloroetileno – n butanol; así también se interpreta el comportamiento de la curva, siendo al final su comportamiento lineal.

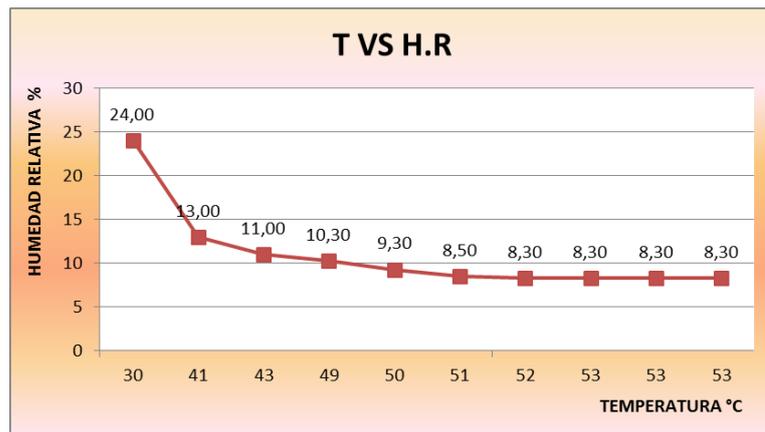


Figura 4.4. Curva temperatura – humedad relativa  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

En el secador EH001, la temperatura en este secador es muy inferior a la temperatura de secado recomendada por los fabricantes de los fotopolímeros, pero sin embargo si es posible el secado con una temperatura máxima de 53 °C. Cabe destacar que según operarios de la empresa, los clichés que han sido secados en este equipo no han tenido inconvenientes cuando estos han sido usados para las diferentes impresiones.

En el secador EH002 se puede apreciar que la temperatura en las diferentes zonas varía muy significativamente respecto al valor recomendado por fabricantes de las planchas fotopolímeras (60°C), pero que a su vez, según los operarios de la empresa, esta variación de la temperatura no provoca daño en el cliché durante el secado.

La desviación estandar es una medida de dispersión y nos indica cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio y en este caso la dispersión de las lecturas realizadas es de 3,86 y tomando en cuenta que la dispersión es menor a 4, quiere decir que las mediciones realizadas son aceptables.

### Medición de la dureza

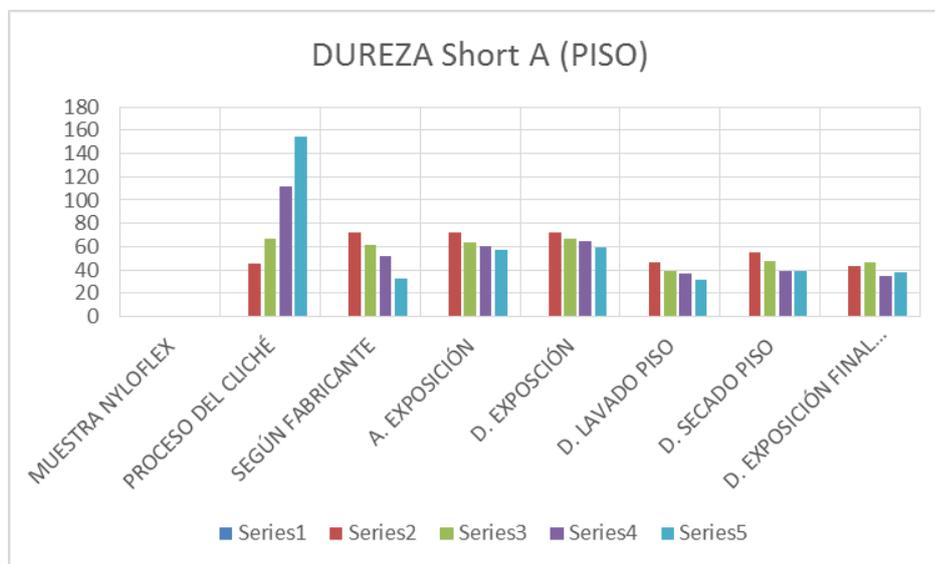


Figura 4.5. Dureza por tipos de clichés medición en piso  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

Con los datos obtenidos en la experimentación se ha elaborado gráficas de dureza de los diferentes tipos de clichés y en cada uno de los procesos, valores que fueron medidos en el piso y en el relieve, estas gráficas se muestran en las figuras 4.5 y 4.6.

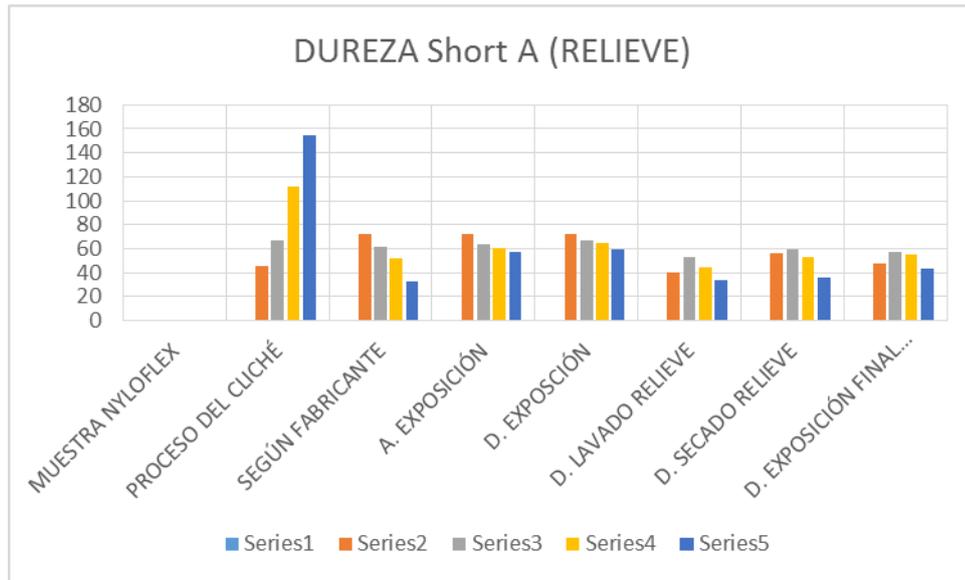


Figura 4.6. Dureza por tipos de clichés medición en relieve  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

La dureza en los diferentes procesos va cambiando de mayor valor a menor y de menor a mayor, es así por ejemplo en el cliché 45 en el relieve inicialmente tenía el valor de 72,20 Sh A, después de la exposición se incrementa en 72,68 Sh A, esto se debe a que el cliché se polimerizó por efecto de la luz UVA, en el proceso de lavado el cliché se ablandó a un valor de 40,60 Sh A, en el secado nuevamente se incrementa el valor de la dureza respecto al anterior proceso en 55,90 Sh A, y finalmente con la exposición de luz UVA la dureza queda en 48,04 Sh A.

Los fabricantes presentaron una dureza inicial de 72 Sh A, al medir con el durómetro aquotip nos dio un valor muy cercano 72,20 Sh A. En los otros clichés el comportamiento es similar.

## Segunda experimentación

Los datos obtenidos de peso en el transcurso del tiempo y en los diferentes clichés, permiten realizar gráficos se presentan para posteriormente analizarlos e emitir interpretaciones. En las gráficas 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se presentan las curvas tiempo – peso.

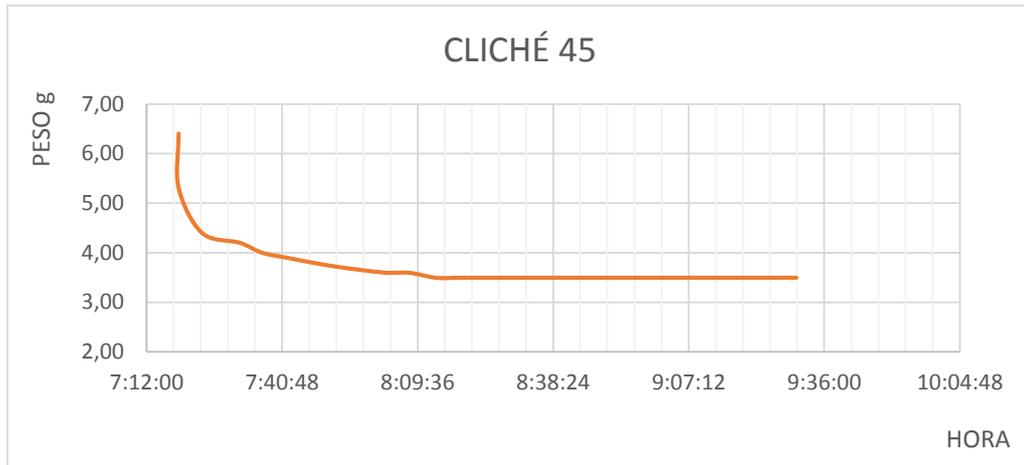


Figura 4.7. Curva característica de secado del cliché 45.  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

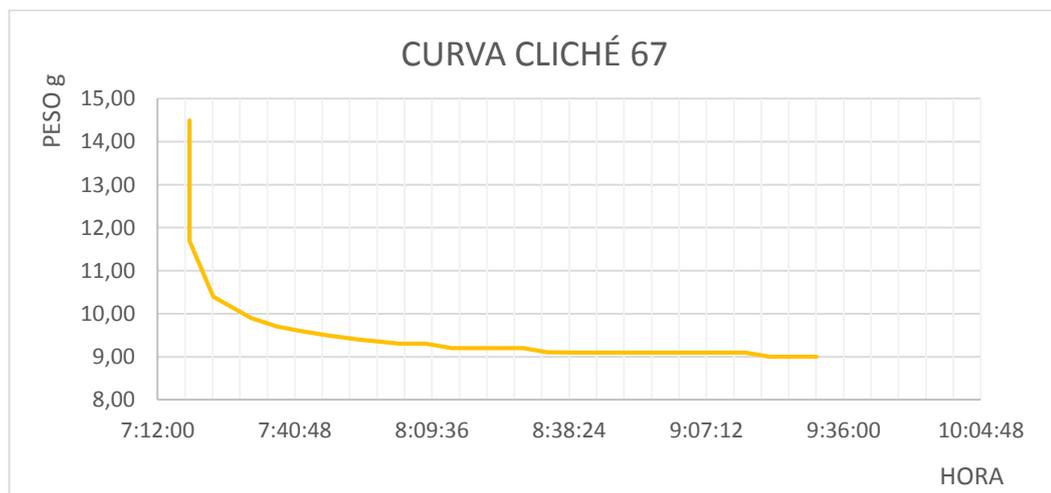


Figura 4.8. Curva característica de secado del cliché 67.  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

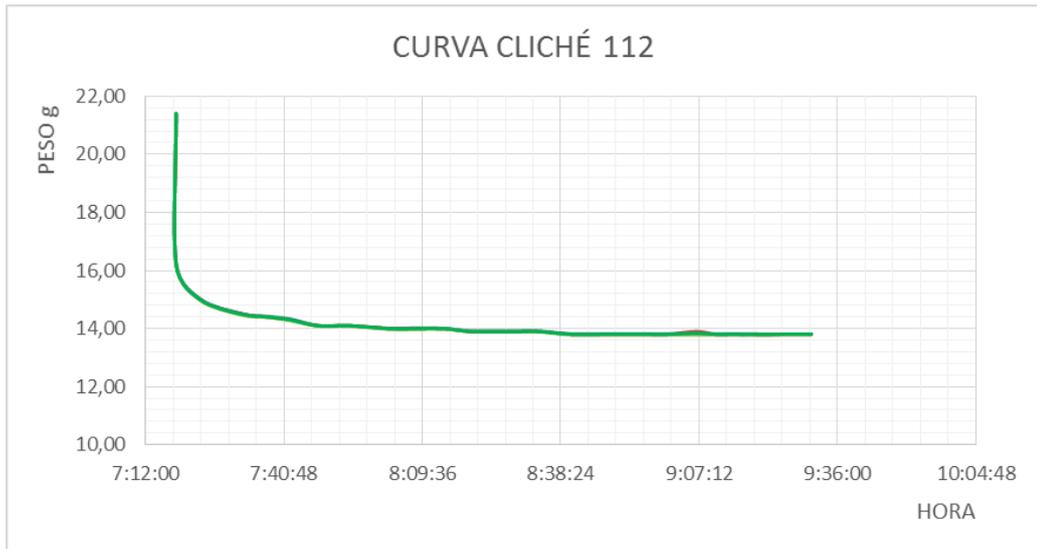


Figura 4.9. Curva característica de secado del cliché 112.  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

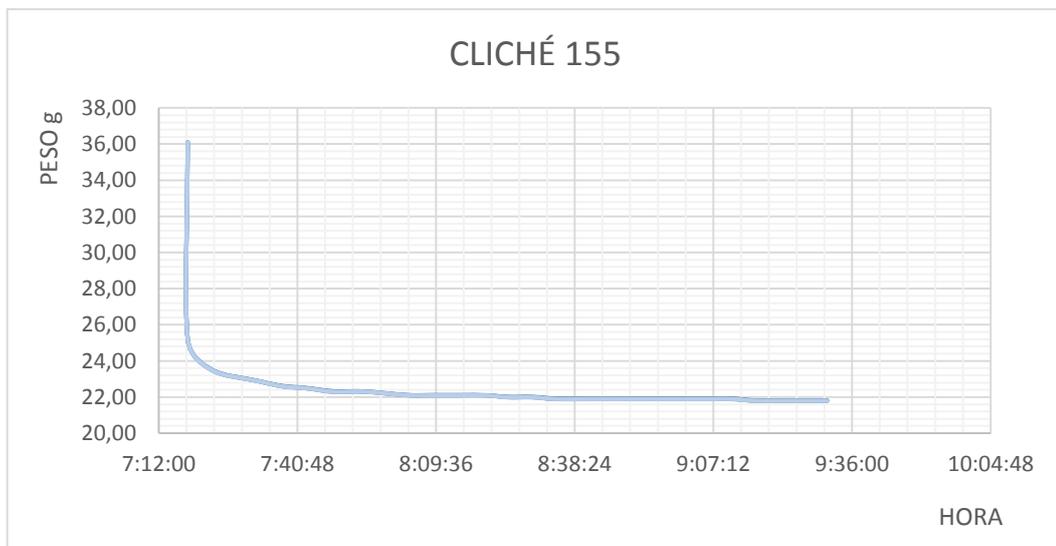


Figura 4.10. Curva característica de secado del cliché 155.  
 Autor: Cartagena Miguel (2013)

De las gráficas de las figuras 4.5 a la 4.8 se puede interpretar que la masa del sólido húmedo va descendiendo hasta llegar a un valor en la que la masa ya no varía y ésta se mantiene constante en el tiempo, a esta masa se le denomina masa del sólido seco,

el tiempo en el que la masa inicial es constante, se le denomina tiempo final del secado.

En la experimentación, los tiempos en los cuales las masas del sólido húmedo pasa a ser sólido seco son menores a los tiempos recomendados por los fabricantes de clichés, pero sin embargo es recomendable exponer al cliché el tiempo sugerido por el fabricante con el propósito de retirar solvente ligado al sólido y obtener la imagen más adecuada.

#### **4.3 Memoria de cálculo para la tecnología de fabricación del secador**

Para el cálculo del calor requerido para la tecnología de fabricación del secador, se utilizaron las ecuaciones descritas en el capítulo 2 y se tomó como base el cliché 155 que es al cual se le da mayor tiempo en el proceso de secado y el de mayor contenido de humedad, para ello se realizó una extrapolación en el contenido de humedad del fotopolímero. También se toma en cuenta las dimensiones del fotopolímero a secar, este es un requerimiento de la empresa Evolution Flex S.A, puesto que existen ciertos clientes que solicitan clichés grandes, por lo que las consideradas para la tecnología de fabricación se basan en las dimensiones del fotopolímero que son 1200 x 2200 mm.

El segundo experimento permitió conocer valores de la masa húmeda y la masa seca en el tiempo, constituyéndose estos valores en datos iniciales para proceder a realizar la memoria de cálculo; para determinar ciertas propiedades del solvente que se utiliza para el lavado del fotopolímeros, se utilizó el software HYSYS V. 7.1. el que sirve para realizar simulaciones de procesos químicos, en el que además de simular diagramas de proceso entre otros, se puede realizar estimaciones de compuestos.

En las figuras 4.11 y 4.12 se muestran las principales propiedades de los solventes percloroetileno y 1 butanol que fueron obtenidos mediante el uso del software Hysys.

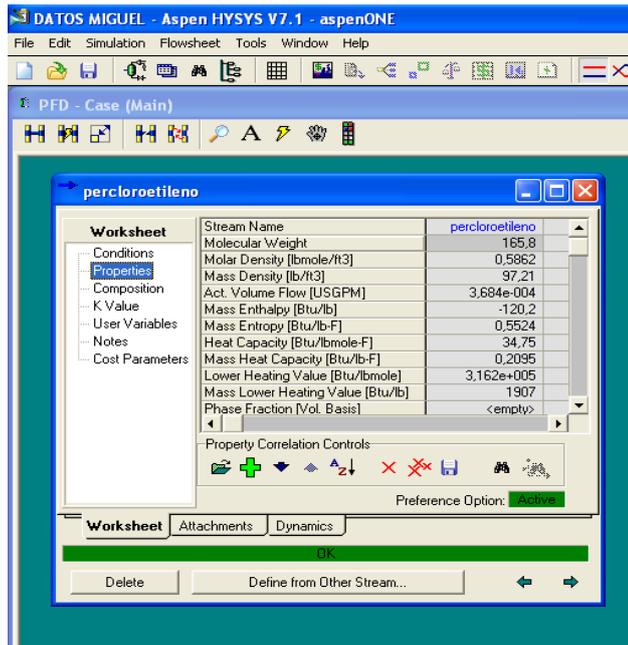


Figura 4.11. Propiedades del percloroetileno  
Fuente: Software Hysys versión 7.1 (2013)

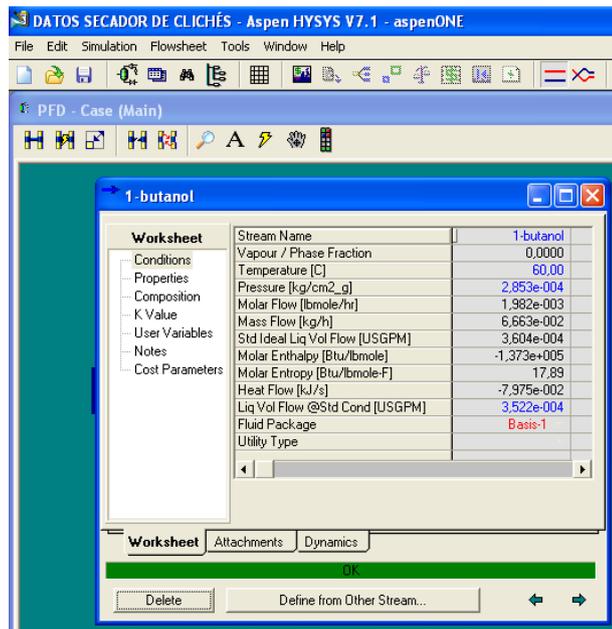


Figura 4.12. Propiedades del 1-butanol  
Fuente: Software Hysys V. 7.1 (2013)

A continuación se determinan los valores de calor sensible, calor latente de vaporización y las pérdidas de calor debido al aislante térmico, con estos valores se determinará la potencia eléctrica requerida para el secado de clichés.

**Para el cálculo del calor sensible** se considera la masa del sólido, más la masa del aire que se encontrará en la bandeja y el tiempo (300 s) que se tomará en llevar de 20°C a 60°C al aire.

La memoria de cálculos para determinar el calor sensible y la potencia eléctrica requerida se lo realiza usando las ecuaciones 2.7, 2.10 y 2.11 del capítulo 2, los cálculos se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Cálculo de calor sensible

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR EL CALOR SENSIBLE CLICHÉ 155				
		UNIDAD		DATOS
Espesor plancha fotopolímera		mm		3,94
Fondo plancha fotopolímera		mm		1200,00
Ancho plancha fotopolímera		mm		2200,00
Area del sólido secado	$\sum A1+A2+A3+A4+A5+A6$	m <sup>2</sup>		5,31
Determinar la masa del sólido húmeda	msh	kg		6,71
Calor específico del monómero	Cp	kJ/kg °C		1,007
Temperatura Inicial (20°C)	Ti	°K	293,15	293,15
Temperatura Final (60°C)	Tf	°K	333,15	333,15
Calor sensible requerido	Qs	kJ (k joule)	$Qs = msh \cdot Cp \cdot (Tf - Ti)$	270,28
Tiempo de llevar de 20°C a 60°C	t	seg		300,00
Potencia debido al calor sensible	Ps	W		900,93

Autor: Cartagena Miguel (2013)

**Para la determinación del calor latente de vaporización**, se partió de un cliché de una superficie a secar de 5.31 m<sup>2</sup>, de una relación de mezcla de los solventes de 3 a 1 de percloroetileno y n butanol (1 butanol), de una masa húmeda de 6707,82 g y al final del secado una masa de 5802,80 g.

Para obtener ciertas propiedades de los solventes a temperaturas de 60°C, se utilizó el software de simulación de procesos químicos Hysys V7.1, con el simulador se determinó la densidad de cada uno de los solventes.

La memoria de cálculos para determinar el calor latente de vaporización y la potencia eléctrica se lo realiza usando las ecuaciones 2.8, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20 y 2.21 del capítulo 2, los cálculos se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Cálculo de calor latente de vaporización

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR EL CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN CLICHÉ 155				
		UNIDAD		DATOS
Espesor plancha fotopolímera		mm		3,94
Fondo plancha fotopolímera		mm		1200,00
Ancho plancha fotopolímera		mm		2200,00
Area del sólido secado	$\sum A1+A2+A3+A4+A5+A6$	m <sup>2</sup>		5,31
Masa del sólido húmeda	msh	g		6707,82
Masa del sólido seco (pesado en balanza al final)	mss	g		5802,80
Masa de la mezcla de solventes que se evapora	m evap.	g	msh-mss	905,02
Densidad del percloroetileno (CCl <sub>2</sub> ) obtenido en hysys	dp a 60°C gas	g/cm <sup>3</sup>	Hysys	1,56
Densidad del N butanol (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O) obtenido en hysys	db a 60°C	g/cm <sup>3</sup>	Hysys	0,79
Proporción de percloroetileno en la mezcla	Vp	cm <sup>3</sup>		0,75
Proporción de butanol en la mezcla	Vb	cm <sup>3</sup>		0,25
Volumen mezcla	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	V= m evap / (dp+db)	662,29
Calcular la masa del percloroetileno	mp	g	mp = 0,75 · V · dp	496,72
Calcular la masa del butanol	mb	g	mb = 0,25 · V · db	165,57
Determinar el peso molecular del percloroetileno	Pp	g/mol	Hysys	165,84
Determinar el peso molecular del butanol	Pb	g/mol	Hysys	74,12
Calcular el # de moles del percloroetileno	moles p		moles p= mp/Pp	3,00
Calcular el # de moles del butanol	moles b		moles b= mb/Pb	2,23
Determinar las fracciones molares de las mezclas de los solventes. Si está en volumen con la densidad de cada uno paso a masa de c/u	f m percloroetileno (f mp)		f mp = moles p/(moles p + moles b)	0,57
	f m butanol (f mb)		f mb = moles b/(moles p + moles b)	0,43
Consultar el calor latente de vaporización del percloroetileno a 60°C	λb	kJ/kg	209,6	209,00
Consultar el calor latente de vaporización del butanol a 60°C	λp	kJ/kg	582,1	590,00
Calcular el calor latente de vaporización promedio	λ prom.	kJ/kg	λ prom. = (λp + λb)/2	399,50
Calcular el calor latente de la mezcla	λ mezcla	kJ/kg	λ mezcla = (λp · f mp) + (λb · f mb)	371,76
Calcular el calor requerido	Q	J (joule)	Q = m evap · λ mezcla	336455,31
		kJ		336,46
Tiempo de secado	t	s		7200,00
Calcular la potencia eléctrica para el secado		W	Potencia eléctrica = Q/t	46,73

Autor: Cartagena Miguel (2013)

**Para el recubrimiento térmico**, se considera los materiales a usar en el hogar del secador, siendo así que se utilizará en el cuerpo interior láminas de acero inoxidable, en el cuerpo exterior aluminio y como aislante térmico se utilizará fibra de vidrio.

Para determinar las pérdidas de energía debido al aislante térmico, se considera los espesores de los materiales a usar.

La memoria de cálculos para determinar las pérdidas de energía debido a los materiales del secador; y usando las ecuaciones 2.9, 2.22 y 2.23, se encuentran mostradas en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Cálculo de pérdida de calor

CÁLCULO DE PERDIDA DE CALOR DEBIDO AL AISLANTE TÉRMICO		
	UNIDAD	DATOS
LAMINA ACERO INOXIDABLE (espesor)	m	0,002
LANA DE VIDRIO (espesor)	m	0,05
ALUMINIO (espesor)	m	0,006
COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD 316	W/m.°K	15,1
COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD FIBRA DE VIDRIO	W/m.°K	0,036
COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD ALUMINIO	W/m.°K	165
Ti (60°C)	°K	333,15
Tf (20°C)	°K	293,15
R1 DEL 316	°K/W	8,4359E-06
R2 DEL AISLANTE TÉRMICO	°K/W	0,080937581
R3 DEL ALUMINIO	°K/W	2,29824E-06
PERDIDA DE CALOR POR SUPERFICIE	W	494,14

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 4.7. Cálculo de la potencia eléctrica

POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA				
			UNIDAD	DATOS
PA	POTENCIA NECESARIA DEBIDO AL CALOR SENSIBLE		W	900,93
PB	POTENCIA NECESARIA DEBIDO AL CALOR LATENTE		W	46,73
PC	PÉRDIDAS DE POTENCIA DEBIDO AL AISLANTE TÉRMICO		W	494,14
Fs	FACTOR DE SEGURIDAD ENTRE 10% Y 30%	20%		1,20
PT	POTENCIA TOTAL	$PT = (PA+PB+PC) * Fs$	W	1730,16

Autor: Cartagena Miguel (2013)

En la tabla 4.7 se determina la **potencia eléctrica** que se requiere para extraer los solventes que se encuentra ligado al fotopolímero.

De las tablas presentadas se puede interpretar que el calor requerido para extraer el solvente percloroetileno – n butanol que está ligado al sólido de 6707,82 g, se requiere 270,28 kJ de calor sensible, 336,46 kJ de calor latente de vaporización; a estos valores lo transformamos en energía eléctrica debido al tiempo de secado tenemos: 900,93 W (en 300 s) y 46,73 W (en 7200 s) respectivamente; la energía perdida debido al aislante térmico es de 494,02 W, y consideramos un factor de seguridad del 20%, nos da un total de energía eléctrica requerida de 1730,16 W.

Con la potencia requerida y el voltaje de alimentación que será de 220 Voltios, se determinan los valores de resistencia eléctrica, longitud y el diámetro del hilo para la construcción de la resistencia eléctrica; para el caso de la tecnología de fabricación se ha tomado al material Ni-Cr en una proporción 40-20. Los resultados del cálculo se muestran en la tabla 4.8. Para efecto de cálculos se tomó el diámetro del hilo de 1 mm y de diámetro de la bobina de 6mm.

Tabla 4.8. Cálculo de resistencia eléctrica

CALCULO DEL VALOR DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA			
POTENCIA REQUERIDA	P	watt	1730,16
VOLTAJE	V	voltio	220,00
CORRIENTE	I	amperio	7,86
RESISTENCIA A 20°C		Ω	27,97
RESISTENCIA A 100°C		Ω	29,15
RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA UNA TEMPERATURA DE 100°C	ρ	u Ω · cm	108,00
	ρ	Ω · cm	0,00
COEFICIENTE DE RESISTIVIDAD (depende del material Ni-Cr a 100°C)	Ct	u Ω · cm	1,04
		Ω · cm	0,00
DIAMETRO DE LA RESISTENCIA	d1	cm	0,10
EN EL MERCADO EL d RESISTENCIA PROXIMA ES	d2	cm	0,10
LONGITUD DE LA RESISTENCIA	L	cm	2119,79
DIAMETRO DE LA BOBINA CONSTRUIDA (SEGÚN MERCADO)	d3	mm	6,00
FACTOR DE SEGURIDAD RECOMENDADO POR FABRICANTES	D = d1 · d3	cm	0,60
NUMERO DE ESPIRAS DE	$N = L / (3.1415 \cdot (D - d2))$		1349,50
LONGITUD ARROLLADA CON ESPIRAS	$L' = N \cdot d2$	mm	134,95
SUPERFICIE A SECAR	A	cm <sup>2</sup>	53100,00

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Para la tecnología de fabricación del nuevo secador, el solvente a extraer se calcula mediante la relación volumen del solvente más el volumen de aire en el interior del secador para el tiempo de secado, ver tabla 4.9.

Tabla 4.9. Cálculo de extractor de solvente

<b>CALCULO DEL EXTRACTOR DE SOLVENTE</b>		
LARGO DEL SECADOR	cm	220,00
ANCHO DEL SECADOR	cm	120,00
ALTURA DEL SECADOR	cm	30,00
VOLUMEN DEL AIRE A CALENTAR EN EL SECADOR	cm <sup>3</sup>	792000,00
VOLUMEN DE SOLVENTE A EXTRAER	cm <sup>3</sup>	662,29
VOLUMEN AIRE + SOLVENTE	cm <sup>3</sup>	792662,29
VOLUMEN AIRE + SOLVENTE	m <sup>3</sup>	0,79
TIEMPO DE EXTRACCIÓN DEL SOLVENTE	h	2,00
FLUJO DE SALIDA DE LOS GASES Q = Volumen/tiempo	m <sup>3</sup> /h	0,40
FLUJO DE SALIDA DE LOS GASES Q = Volumen/tiempo	cfm	0,23

Autor: Cartagena Miguel (2013)

### Consumo energético

Según el cálculo de la potencia de las resistencias eléctricas, nos da un valor de 1730,16 watts, en vista que en el mercado existen de 500 watts para arriba, para la tecnología de fabricación del secador se tomarán 4 resistencias de 500 watts, que nos da un total de 2000 watts. En la tabla 4.10 se presenta la potencia requerida para el secador.

Tabla 4.10. Cálculo de potencia eléctrica para nuevo secador

<b>POTENCIA ELÉCTRICA DEL SECADOR PROPUESTO</b>				
	UNIDAD	CANTIDAD	POTENCIA U.	POTENCIA T.
NIQUELINAS ELECTRICAS	W	4	500	2000
VENTILADOR	W	2	80	160
EXTRACTOR	W	1	80	80
POTENCIA TOTAL				2240

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Analizando e interpretando los valores de las tablas 4.2 y 4.3, capacidad de secado de los equipos EH001, EH002 y consumo eléctrico de los mismos, podemos interpretar que actualmente se puede secar una superficie máxima de 22350 cm<sup>2</sup> con los dos equipos, siendo la potencia eléctrica necesaria para estos equipos de 3850

W. Evaluando la tabla 4.10 de la propuesta de tecnología de fabricación del secador, se muestra que para el secado de 26400 cm<sup>2</sup> se requiere una potencia de 2240 W.

Interpretando los resultados podemos decir que actualmente para secar 1 cm<sup>2</sup> se requiere 0.172 W y con el secador propuesto se requiere 0,085 W, esto implica que existe un ahorro en el consumo de energía en 49,26%.

#### 4.4 Simulación del secador

Una vez que se planteó la configuración del secador se procede a realizar el modelado de la transferencia de calor y el modelado estructural mediante el diseño geométrico y físico del equipo y con el uso del software Ansys R15.0 se obtienen parámetros que permiten corroborar los datos calculados, como es el calor requerido a la entrada, las temperaturas mínimas y máximas en la bandeja y en el hogar del secador. Cabe indicar que el uso del software Ansys R15.0 ha permitido sustituir el tradicional ensayo de prueba, a veces por la rapidez de la interacción con el diseñador y por su costo.

Para el uso del software Ansys R15.0 es necesario conocer las propiedades básicas de los materiales que conformarán el secador, siendo éstas las láminas de acero, de aluminio y de la fibra de vidrio, ver tabla 4.11.

Tabla 4.11. Propiedades de materiales a usar en el secador

PROPIEDADES TERMICAS DE LOS MATERIALES PARA EL SECADOR			
Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/(kg·C))	Conductividad térmica (W/(m·C))
Acero inoxidable AISI 316	7750	480	15,1
Aluminio AISI 6061	2770	875	165
Fibra de vidrio	100	795	1

Fuente: Valores predeterminados en software Ansys R15.0 (2014)

A continuación se presenta figuras y resultados obtenidos mediante la simulación del modelo secador de clichés que se propondrá a la empresa Evolution Flex S.A.

En la figura 4.13, se muestra los datos iniciales y la geometría del secador que se simuló con el software Ansys R15.0.

### PROJECT: SECADOR DE CLICHÉS

First Saved	Thursday, Mayo 19, 2014
Last Saved	Thursday, Mayo 19, 2014
Product Version	15.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No
Autor:	Ing. Miguel Cartagena

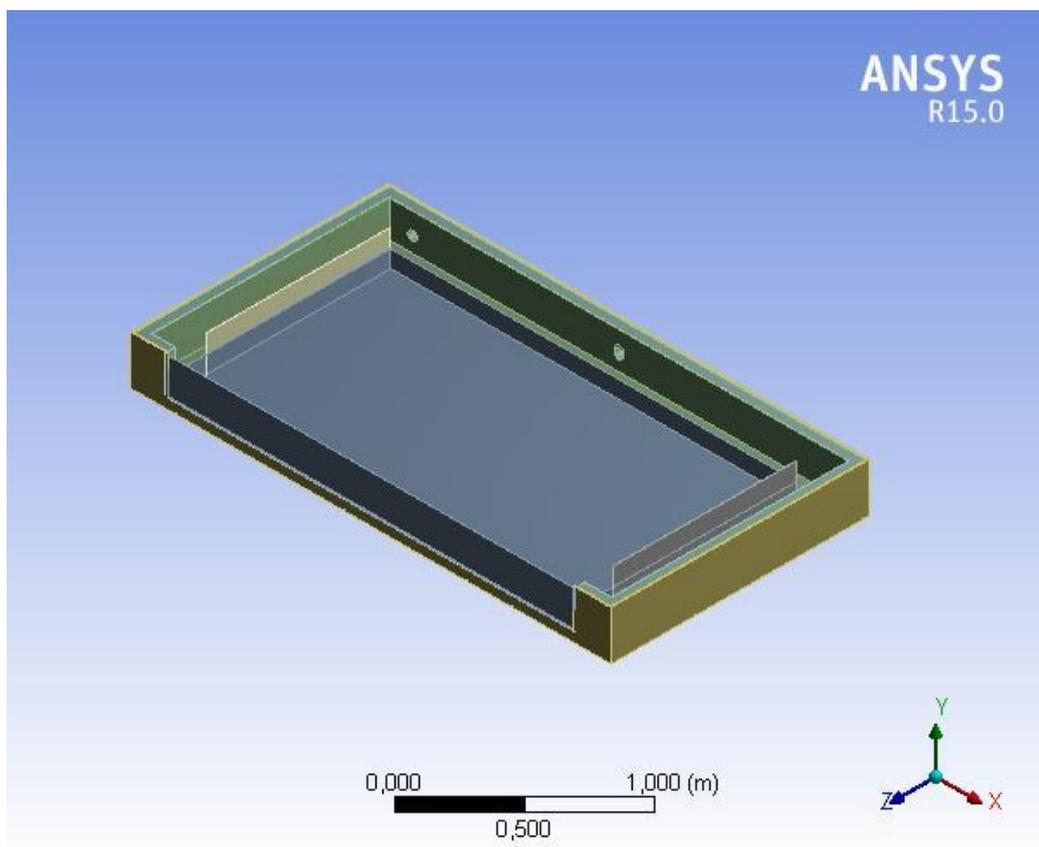


Figura 4.13. Geometría del secador simulado  
Fuente: Software Ansys R15.0 (2014)

En la tabla 4.12, se muestra la configuración de la geometría del secador que sirvió para el modelado.

Tabla 4.12. Configuración de la geometría del secador

	C:\Users\Ing.Miguel\Desktop\SECADOR
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	2,6 m
Length Y	0,32163 m
Length Z	1,4 m
<b>Properties</b>	
Volume	0,4873 m <sup>3</sup>
Mass	32,77 Kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	7
Active Bodies	7
Nodes	313006
Elements	139914
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On	No
Attach File Via Temp	
File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Ing.Miguel\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint	
Geometry	Yes
Enclosure and	
Symmetry Processing	Yes

Fuente: Software Ansys R15.0 (2014)

En la figura 4.14 se muestra el mallado de la geometría del secador, cabe indicar que en esta imagen se ocultó la tapa superior con el propósito de mostrar el interior del secador.

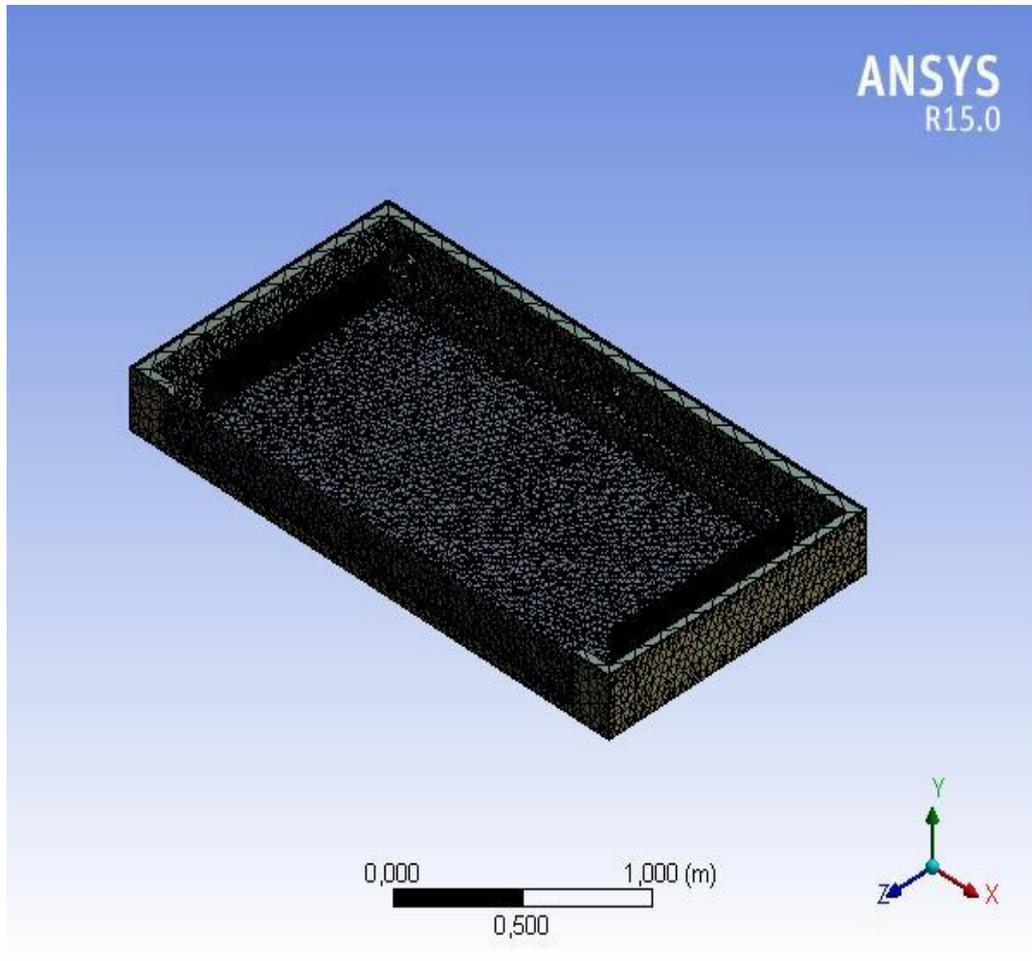


Figura 4.14. Mallado del secador para la simulación  
Fuente: Software Ansys V. 15.0 (2014)

En la figura 4.15 se observa la temperatura en el interior del secador, siendo como máximo el valor de  $66,726^{\circ}\text{C}$  y posteriormente se estabiliza en  $61,30^{\circ}\text{C}$ , estos valores de temperatura se encuentran cercanos a los valores recomendado por fabricantes; sin embargo en la propuesta se instalará un instrumento controlador de temperatura, el cual no permitirá que se eleven las mismas y que se mantenga a  $60^{\circ}\text{C}$ .

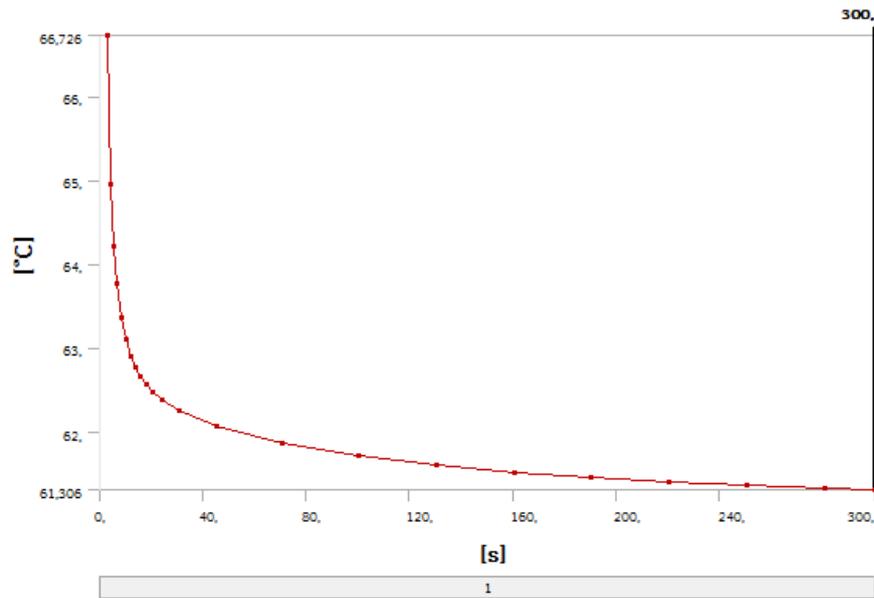


Figura 4.15. Curva temperatura – tiempo del interior del secador  
Fuente: Software Ansys V. 15.0 (2014)

En la figura 4.16, se muestra la transferencia de calor en el secador, siendo el valor máximo en el interior y el mínimo en la parte externa del equipo.

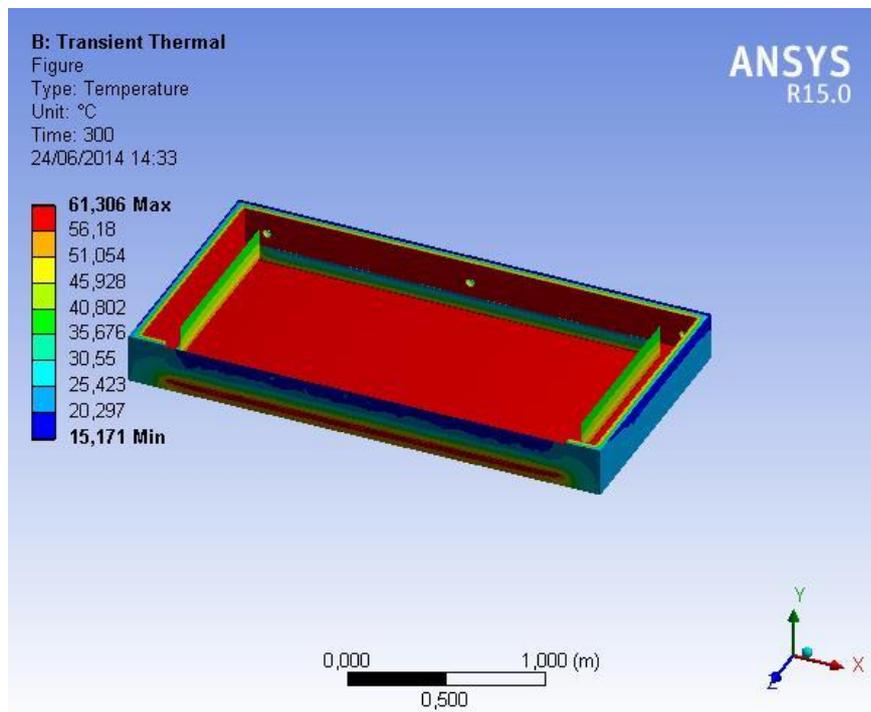


Figura 4.16. Temperatura en el secador  
Fuente: Software Ansys R.15.0 (2014)

#### 4.5 Cálculos para la generación eléctrica a través de la energía solar

Una vez que se ha determinado la potencia eléctrica requerida para el secado del cliché, y en base a los datos estadísticos de radiación solar en la ciudad de Quito que se encuentra detallado en la gráfica de la figura 4.17, se procede a determinar el sistema de generación de electricidad a través de la energía solar.

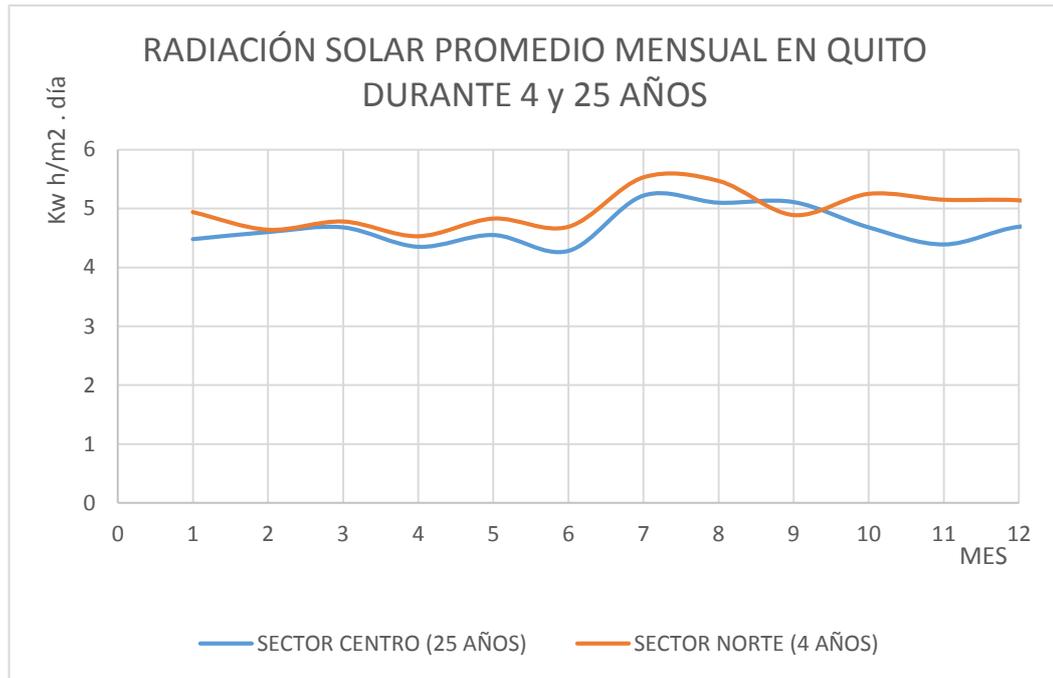


Figura 4.17. Curva de radiación solar en Quito-Ecuador.  
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-10 (2013)

Para la propuesta del sistema de generación se planteó como carga máxima 2240 W, y se buscó en el mercado local, paneles solares de mayor capacidad de generación eléctrica; también se buscó otros elementos tales como: controladores de carga, inversores y bancos de batería que tengan una mayor eficiencia.

En la tabla 4.13 se muestra los valores que permiten calcular el sistema de generación eléctrica aprovechando la energía solar, mediante el uso de paneles fotovoltaicos los cuales serán ubicados en la azotea del edificio de la empresa Evolution Flex S.A.

Tabla 4.13. Valores determinados para generación eléctrica

CALCULOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR		
POTENCIA DE CONSUMO DEL NUEVO SECADOR	2240	W
POTENCIA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS C/U	230	W
VOTAJE DEL PANEL FOTOVOLTAICO	24	V DC
CORRIENTE CALCULADA EN CURVAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	7,60	A DC
POTENCIA CALCULADA POR CADA PANEL FOTOVOLTAICO	182,40	W
NUMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS REQUERIDOS	12,28	u
NUMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS REQUERIDOS FINALMENTE	13	u
ENERGÍA REQUERIDA PARA SECAR CLICHÉS (2 HORAS)	4480,00	W.h
VOLTAJE DE LA BATERÍA	12	VDC
CORRIENTE REQUERIDA PARA SECAR EN 2 HORAS	373,33	A.h
CAPACIDAD DE BATERIAS DE 24 VDC	150	A.h
NÚMERO DE BATERIAS REQUERIDAS	2,49	u
NÚMERO DE BATERIAS FINAL (4 por no existir baterias de 24 VDC)	4	u

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Para calcular el sistema solar se tomó en consideración la curva de rendimiento de los paneles fotovoltaicos que requieren como mínimo una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$  ver figura 4.16.

Evaluando la figura 4.18 se determina que en la ciudad de Quito, la radiación solar se encuentra por encima de los valores requeridos por los paneles.

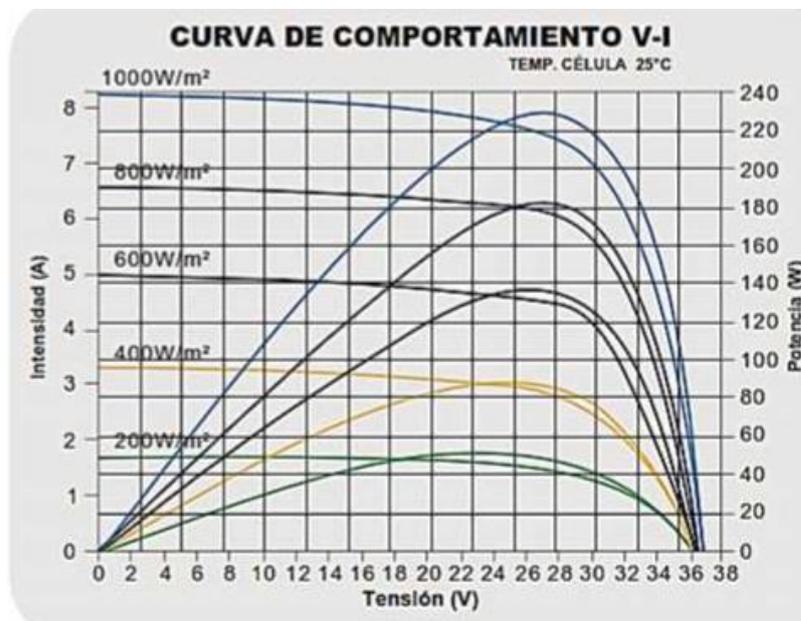


Figura 4.18. Curvas V-I y V-P Paneles fotovoltaicos  
Fuente: Proviento (2013)

#### 4.6 Prueba de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se utiliza como método estadístico de comprobación de hipótesis la prueba de Chi-Cuadrado, el cual permite determinar si existe una relación entre las variables categóricas. Esta prueba indica si existe o no una relación entre variables.

##### a.- Comprobación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se plantea la tabla 4.14 en la que se muestra las frecuencias observadas de las variables que intervienen como son: capacidad de secado de clichés y la eficiencia energética en el secado de clichés, esta última representada como consumo de energía eléctrica.

Tabla 4.14. Valores observados

<b>VALORES OBSERVADOS</b>			
<b>CONDICIONES</b>	<b>ALTERNATIVAS</b>		<b>TOTAL</b>
	<b>EH001 EH002</b>	<b>EH003</b>	
<b>CAPACIDAD SECADORES</b>	22350	26400	<b>48750</b>
<b>CONSUMO ENERGÍA ELECTRICA</b>	3850	2240	<b>6090</b>
<b>TOTAL</b>	<b>26200</b>	<b>28640</b>	<b>54840</b>

Autor: Cartagena Miguel (2014)

##### b.- Solución

###### 1.- Planteamiento de la hipótesis

En el planteamiento de la hipótesis se expone los criterios de independencia, los cuales son:

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>). Las variables son independientes.

El aumento de la capacidad de secado no incrementa la eficiencia energética en el secado de clichés.

Hipótesis alternativa (H1). Las variables no están relacionadas.

El aumento de la capacidad de secado incrementa la eficiencia energética en el secado de clichés.

## 2.- Nivel de error

Este valor se clasifica dependiendo del tipo de significancia entre los resultados teóricos esperados y los resultados empíricos observados en un experimento, toma valores de hasta 1, el valor usualmente utilizado y recomendado es 0,05.

## 2.- Grado de libertad

Representa el grado de independencia y es el número de datos independientes, para el caso de estudio los datos se indican en la tabla 4.14 y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$GL = (\#F - 1) * (\#C - 1) \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde

GL: Grado de libertad

#F: Número de filas de la tabla

#C: Número de columnas de la tabla

$$GL = (2-1) * (2-1) = 1$$

Para el presente caso de estudio el  $GL= 1$

## 3.- Estadísticos de prueba

El cálculo de las frecuencias esperadas se resume en la tabla 4.15 y se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$VMF = \sum VF \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$VMC = \sum VC \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$VMT = \sum VMC \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$E1 = \frac{VMF * VMC}{VMT} \quad \text{Ec. 4.5}$$

Para el caso de estudio se calcula el valor esperado E1.

$$E1 = \frac{48750 * 26200}{54840} = 23290,5$$

Tabla 4.15. Valores de frecuencias esperadas

FRECUENCIA ESPERADA		
CONDICIONES	ALTERNATIVAS	
	EH001 EH002	EH003
CAPACIDAD SECADORES	23290,5	25459,5
CONSUMO ENERGÍA ELECTRICA	2909,5	3180,5

Autor: Cartagena Miguel (2014)

Para el cálculo del chi-cuadrado se lo realiza mediante la ecuación siguiente:

$$X^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Donde

X<sup>2</sup>: Valor Chi-cuadrado

O: Valor observado.

E: Valor esperado.

Mediante el uso de la ecuación 4.6 se determina el valor de chi-cuadrado, los cuales se muestran en la tabla 4.16.

Tabla 4.16. Determinación de los valores esperados y del chi-cuadrado

VALORES ESPERADOS					
	O	E	O - E	(O - E) <sup>2</sup>	(O - E) <sup>2</sup> E
CAPACIDAD SECADORES EH001 Y EH002	22350	23290,5	-940,5	884505,26	37,98
CAPACIDAD SECADORES EH003	26400	25459,5	940,5	884505,26	34,74
CONSUMO DE ENERGÍA EH001 Y EH002	3850	2909,5	940,5	884505,26	304,00
CONSUMO DE ENERGÍA EH003	2240	3180,5	-940,5	884505,26	278,10
				<b>X<sup>2</sup> =</b>	<b>654,83</b>

Autor: Cartagena Miguel (2014)

Para el caso de estudio  $X^2 = 654,83$

#### 4.- Regiones de Rechazo

Los valores de frecuencias esperadas no deben ser menores al nivel de error en un 25% del total de los valores esperados, para el caso de estudio los valores esperados no son menores al nivel de error (0,05).

El  $X^2$  teórico o crítico con grado de libertad 1, con un nivel de error de 0,05 es 3,84. Este valor fue determinado mediante la tabla distribución de chi-cuadrado que se encuentra adjunta en el anexo 10.

#### 5.- Decisión y conclusión

Si  $X^2$  calculado  $>$   $X^2$  de tabla. Se rechaza la hipótesis nula

Como  $X^2$  (calculado) 654,83  $>$  3,84 (tabla), entonces se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>).

Si  $X^2$  tabla  $<$   $X^2$  calculado. Se acepta la hipótesis alternativa

Como  $X^2$  de la tabla 3,84, con grado de libertad 1 es menor al  $X^2$  calculado 654,83, se acepta la hipótesis alternativa, puesto que existe relación entre las variables, es

decir el aumento de la capacidad de secado incrementa la eficiencia energética en el secado de clichés.

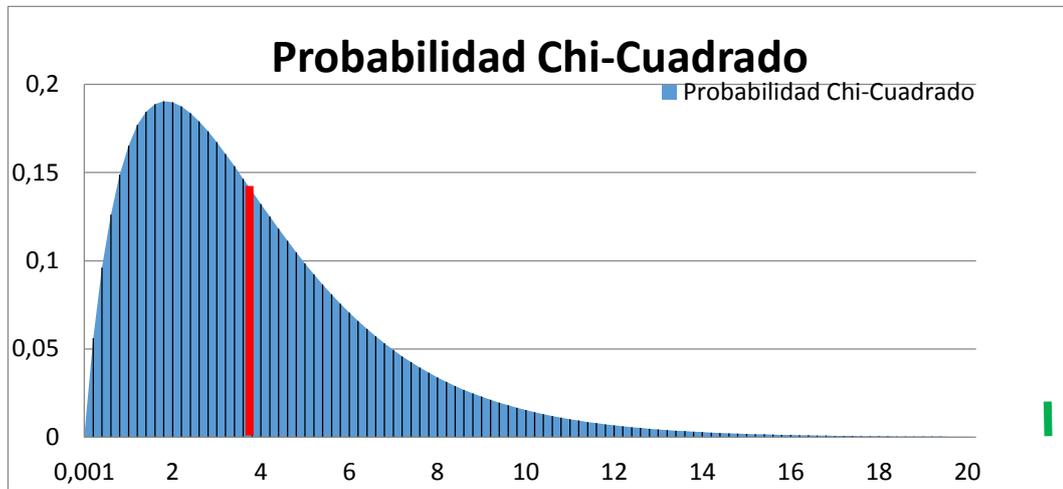


Figura 4.19. Probabilidad de chi-cuadrado  
Fuente: Cartagena Miguel (2014)

#### 4.7 Conclusiones del capítulo

- Se planteó de manera tabulada los datos obtenidos en las diferentes experimentaciones, las cuales se analizaron e interpretaron, permitiendo determinar el valor de la cantidad de calor que se requiere para secar el cliché, y a su vez dimensionar el valor de las resistencias eléctricas y otros elementos que se instalarán en el secador.
- La dureza óptima del cliché se obtiene tras la exposición, el secado y la post exposición, un acortamiento de los pasos provoca una reducción de la dureza.
- Las curvas obtenidas en la experimentación se asemejan a las curvas típicas de secado.
- La experimentación ha permitido obtener los valores de masa de sólido húmedo, masa del sólido seco y la diferencia de las dos viene a ser la masa evaporada.

- Con los resultados obtenidos del sistema de generación eléctrica a través de la energía solar, se puede secar una carga de planchas fotopolímeras de espesor 155 milésimas de pulgada y de 2.2 x 1.2 metros de longitud y ancho.
- Mediante datos estadísticos se verificó la hipótesis, mediante el uso de la prueba de chi-cuadrado.

## **CAPITULO 5**

### **PROPUESTA**

#### **5.1 Título de la propuesta**

Tecnología de fabricación de un secador híbrido eléctrico – solar para secar planchas fotopolímeras para la empresa Evolution Flex S.A.

#### **5.2 Justificación de la propuesta**

Es necesario la propuesta de un secador que permita incrementar la capacidad de secado y disminuir los tiempos en este proceso, y por ende el consumo de energía eléctrica será menor respecto al consumo de los otros secadores que dispone la empresa Evolution Flex S.A.

El secador propuesto debe contener las siguientes características:

- Los materiales para el interior de la cámara de secado sea resistivo a la corrosión.
- Bandeja deslizante y anticorrosiva.
- Conjunto de resistencias eléctricas para calentar aire.
- Ventiladores de bajo flujo y velocidad.
- Sistema de control automático y el set debe estar menor o igual a 60°C.
- Aislante térmico.
- Reducción del consumo energético, respecto a los secadores actuales.
- El costo del secador responda al presupuesto de Evolution Flex S.A.

### **5.3 Objetivos de la propuesta**

Proponer la tecnología de fabricación de un secador para plancha fotopolímera debido al incremento de la producción de clichés en la empresa Evolution Flex S.A.

### **5.4 Estructura de la propuesta**

La tecnología de fabricación de el secador se base en los datos obtenidos de manera experimental, y mediante el uso de información de ingeniería, se propone planos para futura construcción.

### **5.5 Desarrollo de la propuesta**

Para el desarrollo de la propuesta se partió del análisis de los resultados expuestos en el capítulo 4 y se va a realizar por partes. En la figura 5.1 se presenta el plano del secador.

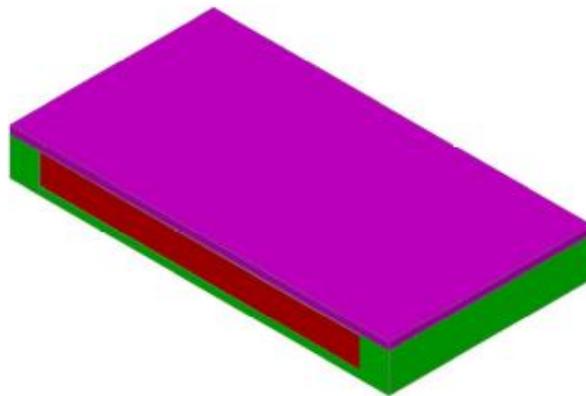


Figura 5.1. Detalle del secador completo  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

### **Cámara de secado**

Para la construcción del secador ver figuras 5.2 y 5.3, las dimensiones del secador responden al requerimiento de la empresa Evolution Flex S.A, es por ello que se plantean las siguientes dimensiones:

Largo: 260 cm  
Ancho: 140 cm  
Altura 30 cm

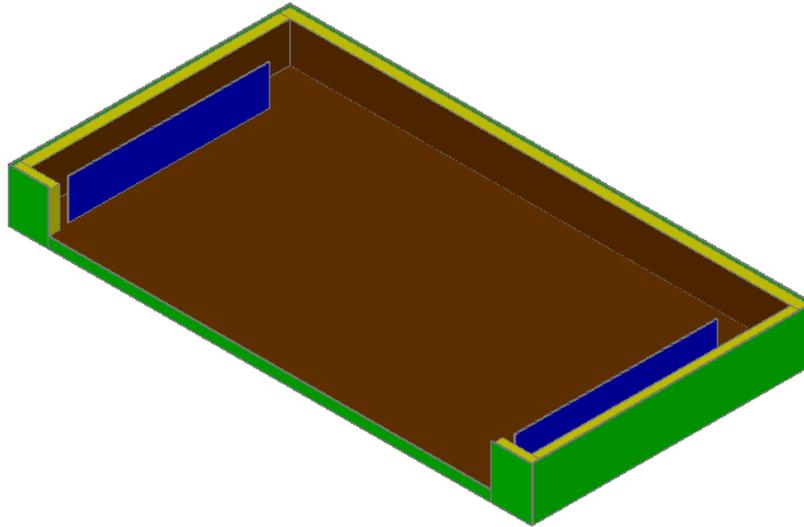


Figura 5.2. Detalle de la cámara del secador  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

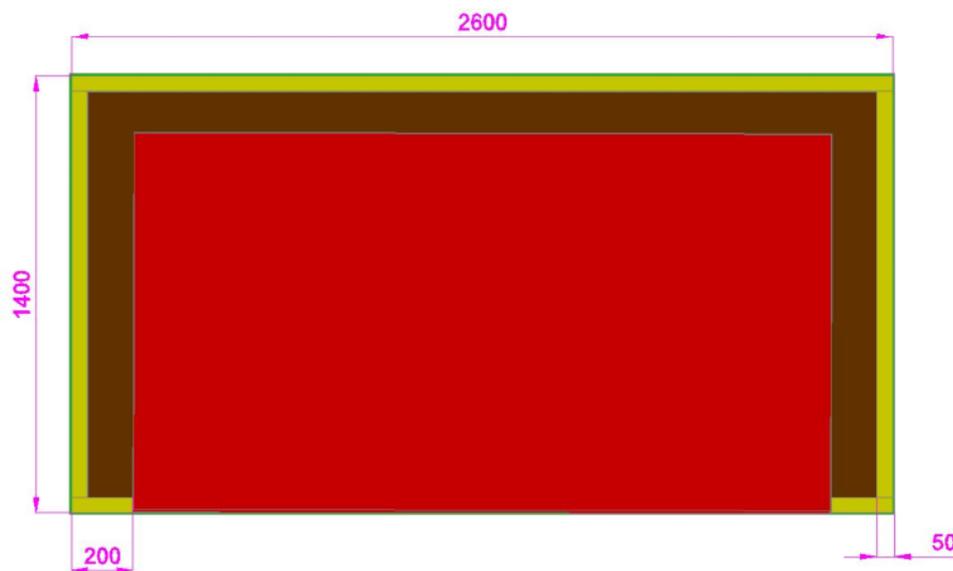


Figura 5.3. Detalle de la cámara del secador vista superior  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

Materiales:

- Para la pared exterior se utilizará lámina de aluminio 6061 de 6 mm de espesor, de color verde en las figuras 5.2 y 5.3.
- Para el aislante térmico se utilizará fibra de vidrio de 50 mm de espesor y de densidad 100 Kg/m<sup>3</sup>, color amarillo en las figuras 5.2 y 5.3.
- Para la pared interna se utilizará lámina de acero inoxidable SA 316 de 2 mm de espesor, de color café en las figuras 5.2 y 5.3.
- El baffle interno será de aluminio 6061 de 6 mm de espesor, 1 m de longitud y 20 mm de altura, de color azul en las figuras 5.2 y 5.3.

### **Bandeja deslizable**

La bandeja del secador tendrá las siguientes dimensiones, ver figuras 5.4 y 5.5.

Largo: 220 cm  
Ancho: 120 cm  
Altura 20 y 10 cm

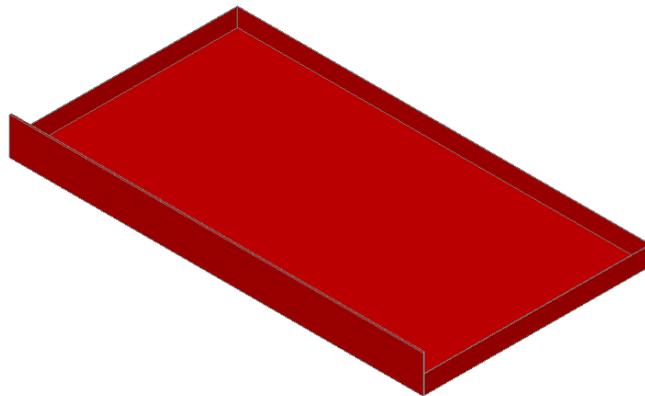


Figura 5.4. Detalles de la bandeja del secador  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

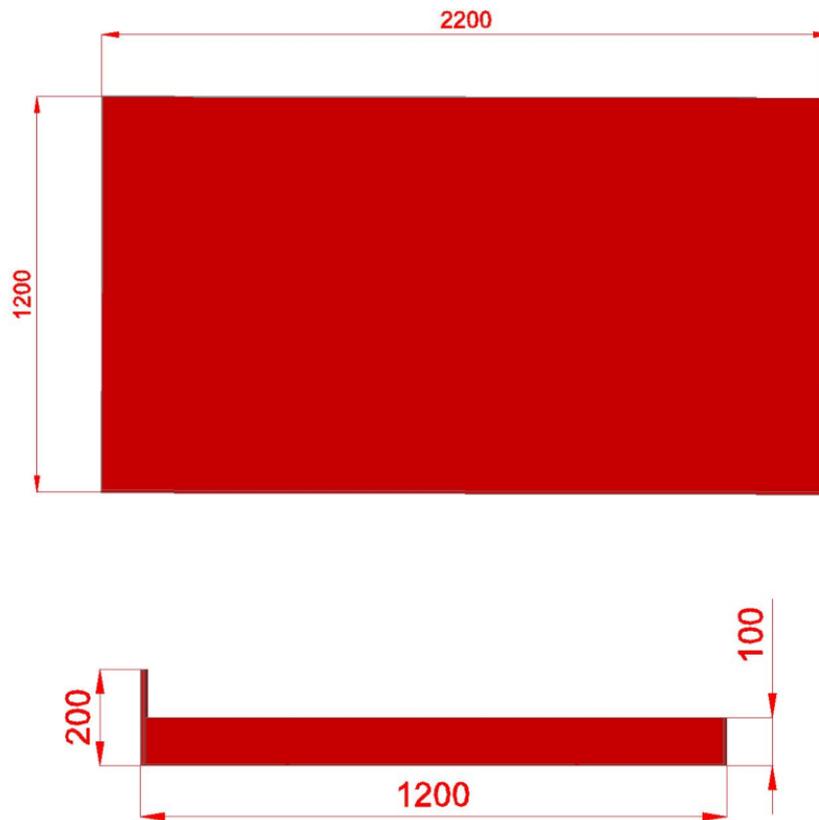


Figura 5.5. Detalles de la bandeja del secador  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

Materiales:

- Para la pared interna se utilizará lámina de acero inoxidable AISI 316 de 2 mm de espesor.
- Para el aislante térmico se utilizará fibra de vidrio de 50 mm de espesor y de densidad 100 Kg/m<sup>3</sup> y se instalará en la tapa frontal de la bandeja.

### Resistencias eléctricas

Para la determinación de las resistencias eléctricas que se utilizará en el secador, se parte del cálculo del valor de las resistencias determinados en el capítulo 4 y que cumplan con las siguientes características:

- Que sirva para calentar aire.
- Que generar el flujo de calor necesario, según cálculos.
- Que el material sea resistivo a la corrosión, pues el ambiente en el interior del secador es corrosivo debido a los solventes.

Con el objeto de no sobrecalentar al cliché, las resistencias eléctricas serán instaladas en la parte posterior de la cámara de secado, las resistencias se instalarán en una caja de calentamiento de aire. No se puede instalar sobre la bandeja debido a la alta radiación que entregan y lo que se requiere es mucho menor.

Revisando la información técnica de algunos fabricantes de resistencias eléctricas que cumplan con las características anteriores, se determinó las siguientes propiedades:

- La resistencia debe ser para aire forzado y debe ser blindado con material acero inoxidable AISI 301 de 8 mm de diámetro.
- La aleta debe ser de una aleación aluminio – zinc (aluzinc) de 25 mm de diámetro.
- El voltaje de alimentación para la resistencia debe ser 220 V.
- Máximo irradiancia de las resistencias es de  $4 \text{ W/cm}^2$ , aunque lo requerido es  $0,04 \text{ W/cm}^2$ .
- Longitud de las resistencias 260 mm de 500 watos
- Número de resistencias: 4 unidades, ver figura 5.6.



Figura 5.6. Resistencia de tubos radiantes para calentar aire.  
Fuente: Escoda (2013)

### Extractor de gas solvente

Según cálculos determinados en el capítulo 4, para el ingreso del flujo de aire caliente a la cámara del secador y de la extracción, es necesario utilizar ventiladores de bajo flujo (según cálculos  $0,40 \text{ m}^3 / \text{h}$ ) y de baja velocidad (2 m/s).

Según la curva presentada en la gráfica 5.7, conforme al flujo que se va a extraer se requiere una presión menor a la atmosférica y el extractor debe ser centrífugo de una sola etapa.

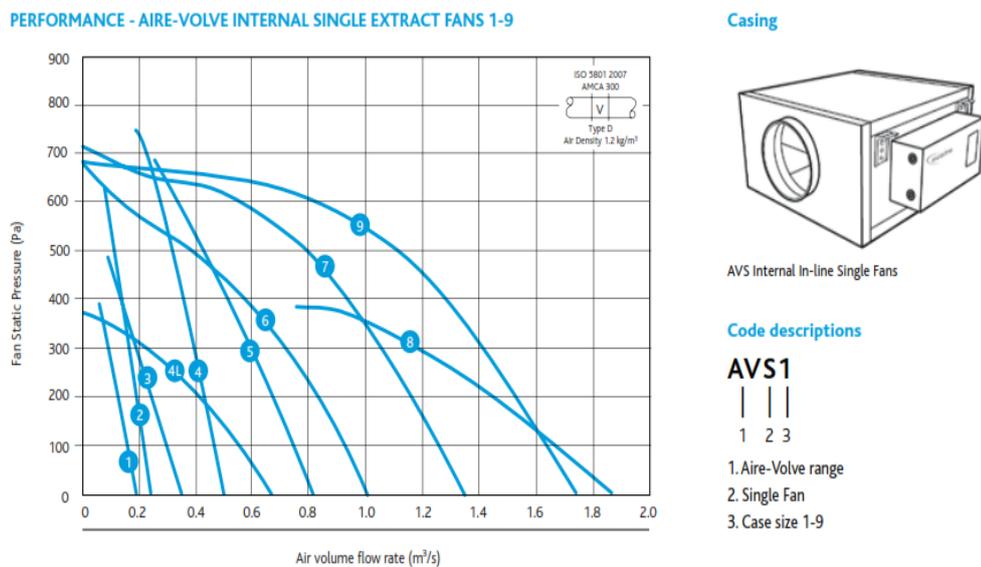


Figura 5.7. Curvas de funcionamiento de extractores.  
Fuente: Nuair (2013)

## Sistema de control automático

En la figura 5.8 se muestra el diagrama de control, consensuado para que trabaje por tiempo y las resistencias eléctricas se conecten y desconecten en función de la temperatura del hogar, la temperatura debe ser menor o igual a 60 °C.

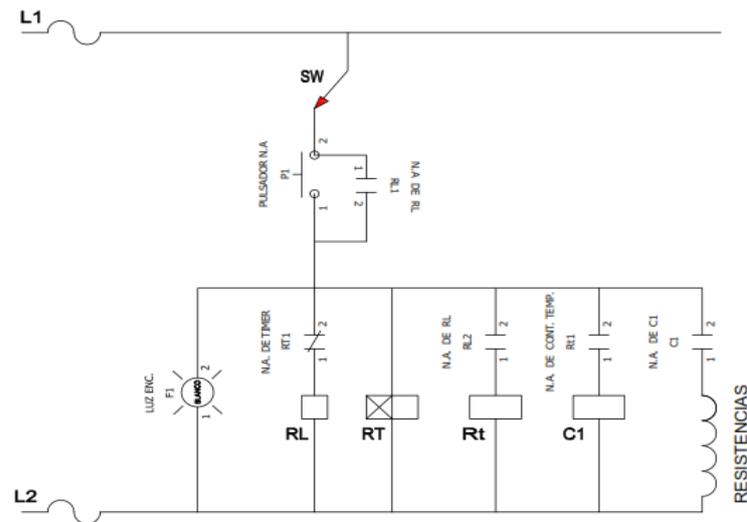


Figura 5.8. Diagrama de control del secador  
Autor: Cartagena Miguel (2013)

El sistema de control tendrá los siguientes elementos:

- 2 fusibles de 15 A, 250 VAC.
- 1 Switch selector (SW).
- 1 Switch pulsador (P1).
- 1 Relé de 220 VAC (RL).
- 1 Relé de tiempo ON DELAY de 220 VAC (RT).
- 1 Controlador de temperatura marca OMROM de 220 VAC (Rt).
- 1 Contactor de 220 VAC (C1).

**Controlador de temperatura**, para este proyecto se utilizará un controlador de temperatura de marca OMRON modelo E5CB11P (figura 5.9) con un elemento sensor tipo PT-100, dentro de las principales características que se tomó en cuenta para la determinación de este controlador están:

- Salida de control a través de un relé de 250 VAC.
- Alarma a través de un relé de salida de 250 VAC.
- Tipo de sensor: termoresistencia de platino Pt100.
- Tensión de alimentación de 100-250 VAC, 60 Hz.

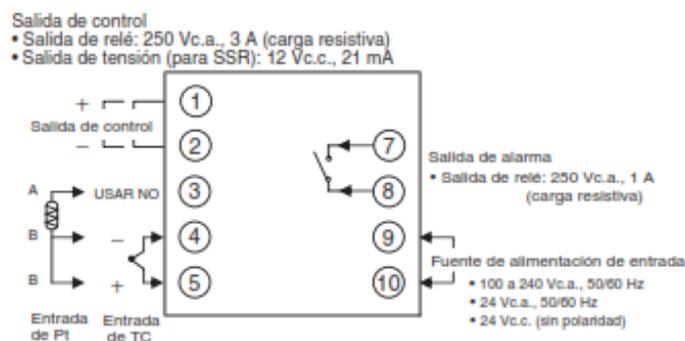
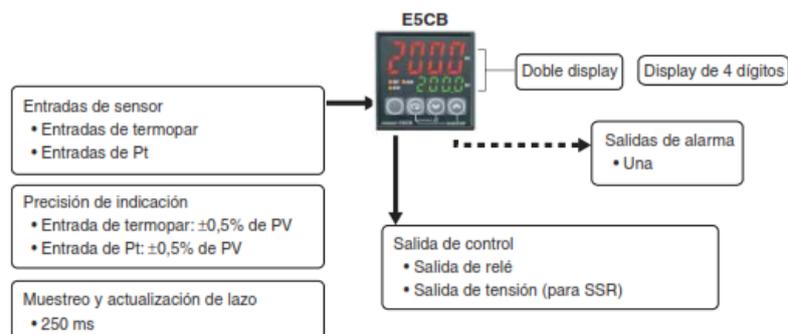


Figura 5.9. Controlador de temperatura PID  
Fuente: Omrom (2013)

**Elemento sensor Pt100**, es un sensor de temperatura, que consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

Para conectar el sensor se debe hacer de dos formas, la primera conectando los 2 hilos que es el modo más sencillo de conexión (pero menos recomendado). En este caso las resistencias de los cables Rc1 y Rc2 que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable.

Con 3 hilos El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables, uno de los requisitos es que los tres cables tengan el mismo calibre.

### **Aislante térmico**

El aislante térmico que se va a utilizar para el piso, el techo y las paredes del secador es la fibra de vidrio de 100 Kg/m<sup>3</sup> de densidad y de espesor de 50 mm.

### **Consumo energético**

Como se determinó en el capítulo 4, el secador actual tendrá una potencia eléctrica total de 2.240 watts, y un consumo de energía eléctrica de 2.240 watt-h.

### **Generación de energía eléctrica aprovechando la energía solar**

De los cálculos obtenidos en el capítulo 4, se determina el siguiente sistema de generación eléctrica aprovechando la energía solar, ver tabla 5.1 en el que se presenta de forma resumida los elementos que componen el sistema.

Tabla 5.1. Equipos para generación eléctrica

<b>EQUIPOS PARA GENERACION SOLAR</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
PANELES FOTOVOLTAICOS DE 230 W c/u MARCA SIMAX 24 VDC	u	13
CONTROLADOR DE CARGA, MARCA: MORNINGSTAR, MODELO: TRI STAR PMW, DE 60 A	u	1
INVERSOR DE VOLTAJE EXMORK DE 4000 VA	u	1
BATERÍAS ULTRACELL UCG 150-12, 12 VDC 150 Ah @ C20h	u	4
SOPORTERÍA SOBRE TECHO ANGULO DE 30 X 30 X 2 mm	m	30

Fuente: Proviento (2013) y Cartagena Miguel (2013)

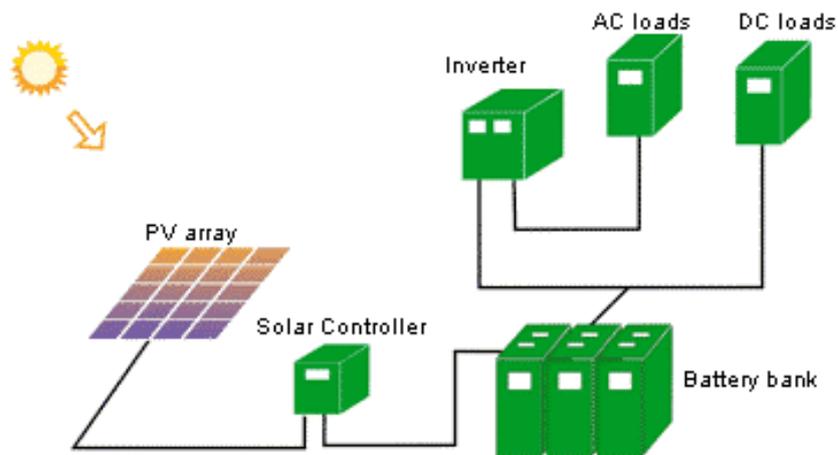
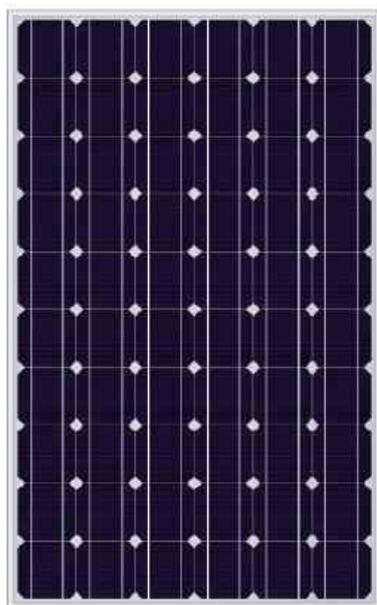


Figura 5.10. Diagrama de conexión del sistema de generación.  
Fuente: Prieto (2013). Energía renovable

A continuación se detalla las características principales de los equipos a usar para la generación eléctrica, aprovechando la energía solar.

### Panel Fotovoltaico



**Monocristalino**  
**230Wp / 30V**

Figura 5.11. Panel fotovoltaico  
Fuente: Proviento (2013)

## Controlador de carga



Figura 5.12. Controlador de carga  
Fuente: Proviento (2013)

## Banco de baterías

UCG150-12	Physical Specification
	Part Number: <b>UCG150-12</b>
	Length: <b>485 ± 2 mm (19.09Inches)</b>
	Width: <b>170 ± 2 mm (6.69 Inches)</b>
	Container Height: <b>240 ± 2 mm (9.45 inches)</b>
	Total Height (with terminal): <b>240 ± 2 mm (9.45 inches)</b>
	Approx Weight: <b>Approx 44 kg</b>

Figura 5.13. Batería para almacenar la energía  
Fuente: Proviento (2013)

## Inversor de voltaje



Figura 5.14. Inversor de voltaje de DC a AC  
Fuente: Proviento (2013)

## 5.6 Costo del secador

El costo de la propuesta para el secador híbrido eléctrico solar, responde al presupuesto de la empresa Evolution Flex S.A. y se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Presupuesto para construir secador

<b>PRESUPUESTO PARA CONSTRUIR EL SECADOR</b>				
<b>MATERIALES</b>				
	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>LAMINA DE 2 mm DE ACERO INOXIDABLE 316</b>				
CÁMARA INTERNA	m <sup>2</sup>	<b>6,96</b>	201,50	1402,44
BANDEJA	m <sup>2</sup>	<b>3,41</b>	201,50	687,07
<b>LAMINA DE 6 mm DE ALUMINIO</b>				
CÁMARA EXTERNA aluminio 6 mm	m <sup>2</sup>	6,96	50,00	348,00
AISLANTE TÉRMICO LANA DE VIDRIO DE 2"	m <sup>2</sup>	6,96	40,00	278,40
<b>HERRAJES</b>				
RIELES HIDRÁULICOS DE 1,3 metros macho-hembra (Fe-Zn)	par	1,00	150,00	150,00
TIRADERAS INOXIDABLE 316	u	2,00	80,00	160,00
<b>MATERIALES ELÉCTRICOS</b>				
RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	glb	1,00	1000,00	1000,00
AISLANTES CERÁMICOS (POSTES)	u	39,00	15,00	585,00
CAJA PARA TABLERO DE CONTROL	u	1,00	70,00	70,00
SWITCH DE TEMPERATURA	u	1,00	350,00	350,00
SENSOR DE TEMPERATURA	u	1,00	50,00	50,00
CONTACTOR	u	2,00	30,00	60,00
TERMICOS	u	2,00	20,00	40,00
CABLES, FUSIBLES, CONECTORES, OTROS	glb	1,00	50,00	50,00
EXTRACTOR DE GASES DE 1/4 HP 220V	u	2,00	150,00	300,00
<b>MANO DE OBRA</b>				
DISEÑO DEL SECADOR	glb	1,00	500,00	500,00
MECANICO INDUSTRIAL	glb	1,00	350,00	350,00
ELECTRICO INDUSTRIAL	glb	1,00	350,00	350,00
<b>EQUIPOS</b>				
DOBLADORA DE TOOL	glb	1,00	100,00	100,00
EQUIPO DE CORTE	glb	1,00	100,00	100,00
EQUIPO DE SOLDADURA	glb	1,00	100,00	100,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>7030,91</b>
<b>EQUIPOS PARA GENERACION SOLAR</b>				
PANELES FOTOVOLTAICAS DE 230 W c/u MARCA SIMAX 24 VDC	u	8,00	550,00	4400,00
INVERSOR DE VOLTAJE DE 2500 VA	u	1,00	720,00	720,00
BANCO DE BATERÍAS (ACUMULADOR) 12 VDC 150 Ah @ C20h	u	10,00	430,00	4300,00
SOPORTERÍA SOBRE TECHO ANGULO DE 30 X 30 X 2 mm	m	30,00	10,00	300,00
				<b>9720,00</b>
				<b>16750,91</b>

Autor: Cartagena Miguel (2013)

## A. Responsables de la implementación

Una vez que se da a conocer a la empresa Evolution Flex S.A, la propuesta de la tecnología de fabricación del nuevo secador, queda en la empresa la responsabilidad de acoger los resultados y viabilizar a futuro la construcción del nuevo secador.

### 5.7 Evaluación socio-económico

Mediante esta evaluación, se conoce la probabilidad de éxito de un proyecto, pues en este se identifica índices económicos y la utilidad social y luego se estima el impacto del proyecto sobre cada uno de los índices.

#### 5.7.1 Resultados de la valoración económica de la propuesta de un secador

Las técnicas de evaluación económica de un proyecto son varias, entre las cuales vamos a destacar las siguientes: Flujos económicos, valor presente neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).

#### 5.7.2 Valor presente neto (VAN)

El valor presente neto o llamado también valor actual neto, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros por inversión (ingresos – gastos). El VAN permite definir si el proyecto es rentable o no, así tenemos:

Si el VAN es mayor que cero, la inversión producirá ganancias y el proyecto es viable y si el VAN es menor que cero, la inversión producirá pérdidas y el proyecto debe ser rechazado.

Si el VAN es igual a cero, la inversión no producirá ni ganancia ni pérdida y el proyecto debe ser decidido en función de otros parámetros como puede ser obtención de posicionamiento en el mercado y satisfacción de los clientes. En forma de ecuación el valor presente neto se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{VAN} = \text{FLUJOS DE EFECTIVO ESPERADOS} - \text{INVERSIÓN ORIGINAL} \quad \text{Ec. (5.1)}$$

En forma simplificada la ecuación 5.1 puede quedar expresada de la siguiente manera:

$$VAN = \sum Fi * (1 + K)^{-n} - Io \quad \text{Ec. (5.2)}$$

Donde

VAN: Valor presente neto o valor actual neto

Fi: Flujo i-ésimo esperado.

K: Costo de capital o tasa de rendimiento mínima atractiva esperada.

n: Plazo o período de vida útil.

Io: Inversión inicial.

### **5.7.3 Tasa Interna de retorno (TIR)**

Se define como la tasa de interés con la cual el valor actual neto es igual a cero. Si el TIR es mayor a la tasa de interés del mercado, entonces se dice que el proyecto es rentable y si es menor a la tasa de interés, entonces tendremos que destinar el dinero a otra actividad. En forma de ecuación la tasa interna de retorno se puede expresar de la siguiente forma:

$$0 = \text{FLUJOS DE EFECTIVOS ESPERADOS} - \text{INVERSIÓN ORIGINAL} \quad \text{Ec. (5.3)}$$

En forma simplificada la ecuación 5.3 puede quedar expresada de la siguiente manera:

$$0 = \sum Fi * (1 + K)^{-n} - Io \quad \text{Ec. (5.4)}$$

Donde

VPN o VAN = Valor presente neto = 0

Fi: Flujo i-ésimo esperado.

TIR: Tasa interna de retorno.

n: Plazo o período de vida útil.

Io: Inversión inicial.

### 5.8 Evaluación económica

Sobre la base de los costos de fabricación del secador y considerando la inversión en la construcción del secador, así como la ganancia en el incremento de la producción debido al aumento en la capacidad de secado, presentamos en las tablas 5.3, 5.4 y 5.5 los valores de: entrada, egresos, ingresos y flujo de caja, para posteriormente dar a conocer el VAN y el TIR.

Tabla 5.3 Valores de entrada para cálculos de VAN y TIR

<b>SECADOR DE CLICHÉS</b>	
<b>DATOS Y VARIABLES</b>	
Inversión Total	17610,91
Materiales Mecánicos	3025,91
Materiales Eléctricos	2505,00
Paneles Fotovoltaicos	7150,00
Controlador de voltaje	290,00
Inversor de voltaje	1200,00
Banco de baterías	1640,00
Soporterías	300,00
Costos mano de obra	1200,00
Costos de herramientas	300,00
	17610,91
Ahorro en horas extras (\$2,30)	690,00
Incremento de la producción en 1.000.000 cm <sup>2</sup> (\$ diferencia venta-costo producción)	10000,00
Años de depreciación	5,00
Días laborables	260,00
Tasa de descuento (Interes) 2013	8,17%

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 5.4. Años de inversión y egresos

AÑOS	2014	2015	2016	2017	2018
% Inversión por años	50,00%	50,00%			
AÑOS	2014	2015	2016	2017	2018
EGRESO PROYECTO	1	2	3	4	5
Inversión	8805,46	8805,46			
Amortización de la Inversión		3522,18	3522,18	3522,18	3522,18
Materia prima por incremento en 1.000.000	500,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Costos de energía eléctrica	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Costos de mantenimiento	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Costos de operación	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
<b>TOTAL</b>	<b>10155,46</b>	<b>14177,64</b>	<b>5372,18</b>	<b>5372,18</b>	<b>5372,18</b>

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 5.5. Ingresos y flujo de caja

AÑOS	2014	2015	2016	2017	2018
INGRESO PROYECTO	1	2	3	4	5
Incremento de la producción (estimado en l	5000,00	10000,00	10000,00	10000,00	10000,00
Ahorro en energía eléctrica		1440,00	1440,00	1440,00	1440,00
<b>TOTAL</b>	<b>5000,00</b>	<b>11440,00</b>	<b>11440,00</b>	<b>11440,00</b>	<b>11440,00</b>

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Tabla 5.6. Resultados económicos

<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-5155,46</b>	<b>-2737,64</b>	<b>6067,82</b>	<b>6067,82</b>	<b>6067,82</b>
<b>TIR =</b>	<b>38,22%</b>				
0,01					
Tasa de descuento =	8,17%				
<b>VAN =</b>	<b>6217,74</b>				
<b>COSTO/BENEFICIO =</b>	<b>1,35</b>				

Autor: Cartagena Miguel (2013)

Como se puede observar los valores del VAN es de 6218 y un TIR de 38,22% que es superior a la tasa de interés promulgada por el Banco Central del Ecuador, por lo cual se determina que es factible la construcción del nuevo secador propuesto.

## **5.9 Conclusiones del capítulo**

- En este capítulo se presentó el desarrollo de la propuesta, siendo las especificaciones detalladas de cada uno de los componentes que formarán parte de un secador híbrido eléctrico – solar.
- Analizando e interpretando los resultados socio económicos, se debe decir que la futura construcción del secador es totalmente rentable, considerando que se aprovechará la energía solar y se dejará de cancelar valores debido a horas extras.

## CONCLUSIONES GENERALES

- La empresa en el transcurso del tiempo ha incrementado su producción de clichés, es así que en el año 2011 ha producido 1.049.069,65 cm<sup>2</sup>, en el año 2012 pasó a 7.109.063,30 cm<sup>2</sup> que representa un incremento del 577,65% más que el año 2011, y en el año 2013 hasta el mes de octubre pasó a 8.033.771,71 cm<sup>2</sup> que representa el 13,01% más que el año 2012.
- Mediante pruebas experimentales y cálculos se determinó que para extraer 905,02 g de solvente (percloroetileno más n butanol) que se encuentra ligado al cliché, se requiere 270,28 kJ de calor sensible y 336,46 kJ de calor latente de vaporización.
- Con los dos secadores actuales que dispone la empresa se puede secar una superficie máxima de 22350,00 cm<sup>2</sup>, siendo la potencia eléctrica necesaria para estos equipos de 3850,00 W, con la propuesta del nuevo secador se secará una superficie de 26400,00 cm<sup>2</sup> y se requiere una potencia eléctrica de 2240,00 W. Esto quiere decir que actualmente se consume 0,17 W/cm<sup>2</sup>, mientras que con la propuesta será 0,085 W/cm<sup>2</sup>, siendo un ahorro energético del 49,26%.
- Se simuló la transferencia de calor en el secador propuesto mediante el software ANSYS, en el que se refleja la distribución del calor sobre la bandeja, siendo el valor máximo de 66,72°C y mínimo de 61,30°C; estos valores corroboran los datos de temperatura recomendados por los fabricantes de las planchas fotopolímeras.
- Se definió un sistema de generación de energía eléctrica de 2240 W, aprovechando la energía que nos entrega el sol, el cual permitirá contribuir de cierta manera al ahorro de consumo eléctrico de la empresa y del país.

- Se realizó la evaluación económica para la tecnología de fabricación del secador, la cual arrojó valores del VAN de 6218 y un TIR de 38,22%, estos valores indican que es factible la construcción del nuevo secador propuesto.
- La propuesta de la tecnología de fabricación del nuevo secador, sustentado en el incremento de la producción aproximadamente en 577% en el 2012 y del 13% en el 2013; así como el ahorro económico por consumo de energía eléctrica en un 49,26%. Se concluye que la construcción del secador es rentable económicamente y eficientemente.
- Tomando en cuenta los secadores actuales de 3,8 kW, con un tiempo promedio de 2,5 h/día, con 22 días de operación y con un costo de \$0,10 el kW/h, la empresa cancela por consumo eléctrico el valor de \$21,18 por mes aproximadamente; mientras con el secador propuesto y considerando los mismos valores de tiempo y costo kW/h, se cancelará un valor de \$12,32 por mes, teniendo un ahorro del 71%, esto sin considerar el ahorro en el caso de utilizar totalmente la energía generada por la solar.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa Evolution Flex S.A, realice la inversión para la construcción del nuevo secador en base la propuesta planteada, por cuanto representa un ahorro energético del 49,26%. Además es totalmente rentable desde el punto de vista económico con un costo/beneficio del 1,35.
- Se recomienda a la empresa la construcción del nuevo secador híbrido eléctrico-solar por etapas, siendo la primera la construcción del secador para que opere con energía eléctrica, y una segunda etapa será la instalación del sistema de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía solar.
- Se deberá fomentar el uso de la energía renovable, aunque sea a pequeña escala, a pesar de que inicialmente la inversión es elevada.
- Que el presente trabajo se utilice como material de consulta para futuras investigaciones.
- Una vez que la empresa construya el secador, se recomienda que se realice mediciones a través de una cámara termográfica para verificar las temperaturas en la superficie de secado.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

Atlas solar con fines de generación eléctrica, (2008). Corporación para la investigación energética, Quito, Ecuador. (p. 49)

CÁRDENAS, Luis. (2010). Diseño y construcción de una máquina secadora de abono orgánico para la planta de abonos de Pronaca. Quito, Ecuador. (p. 25)

ECHEVERRI, C. (2011). Ventilación industrial. Medellín, Colombia. Ediciones de la Universidad de Medellín. (p. 17, 127, 132 y 136)

GEANKOPLIS, C. (1998). Proceso de transporte y operaciones unitarias, tercera edición. México D.F., México: Compañía Editorial Continental, S.A de C.V. (p. 579, 596 y 598)

MCCABE, W., SMITH, J., & HARRIOT, P. (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, sexta edición. México D.F., México: Mcgraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. (p. 835, 837, 839 y 853)

NYLOFLEX. (2005). Instrucciones de trabajo para plachas para impresión flexográfica. (p.5)

Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-10. (2011). Energía Renovable, parte 14-1. Quito, Ecuador. (p. 21)

OMROM. (2013). Controladores de temperatura. (p. 4)

PERRY, R., & GREEN, D. (2001). Manual del Ingeniero Químico, séptima edición, volumen II. Madrid, España: Mcgraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U. (p. 11-90 y 12-46)

RODRÍGUEZ, G. (2012). Energía Solar y voltaica, conferencia 1. (p. 22-25)

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

CAO, E. (2004). *Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos*, primera edición. Argentina.

CENGEL, Y., & BOLES, M. (2009). *Termodinámica, sexta edición*. México: McGraw-Hill.

INCROPERA, F. & DEWITT, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*, cuarta edición. Mexico: Prentice Hall Hispanoamérica S.A.

KERN, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*, trigésima edición. Mexico DF., Mexico: Mcgraw-Hill/Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.

## LINKOGRAFÍA

Agencia Espacial Civil Ecuatoriana. (2013), [en línea]. Disponible en: <http://uv.exa.ec/index-es.html> [Consulta: 2013, 15 de octubre]

DELGADO, N. (2010). Pequeña historia de la flexografía, [en línea]. Flexografía.com. Disponible en: <http://flexografia.com/portal/modules.php?name=Content&pa=printpage&pid=11> [Consulta: 2013, 2 de marzo]

FLINT, G. (2013). Planchas fotopolímeras, [en línea]. Disponible en: [www.flintgrp.com](http://www.flintgrp.com) › Home › Flexography [Consulta: 2013, 20 de abril]

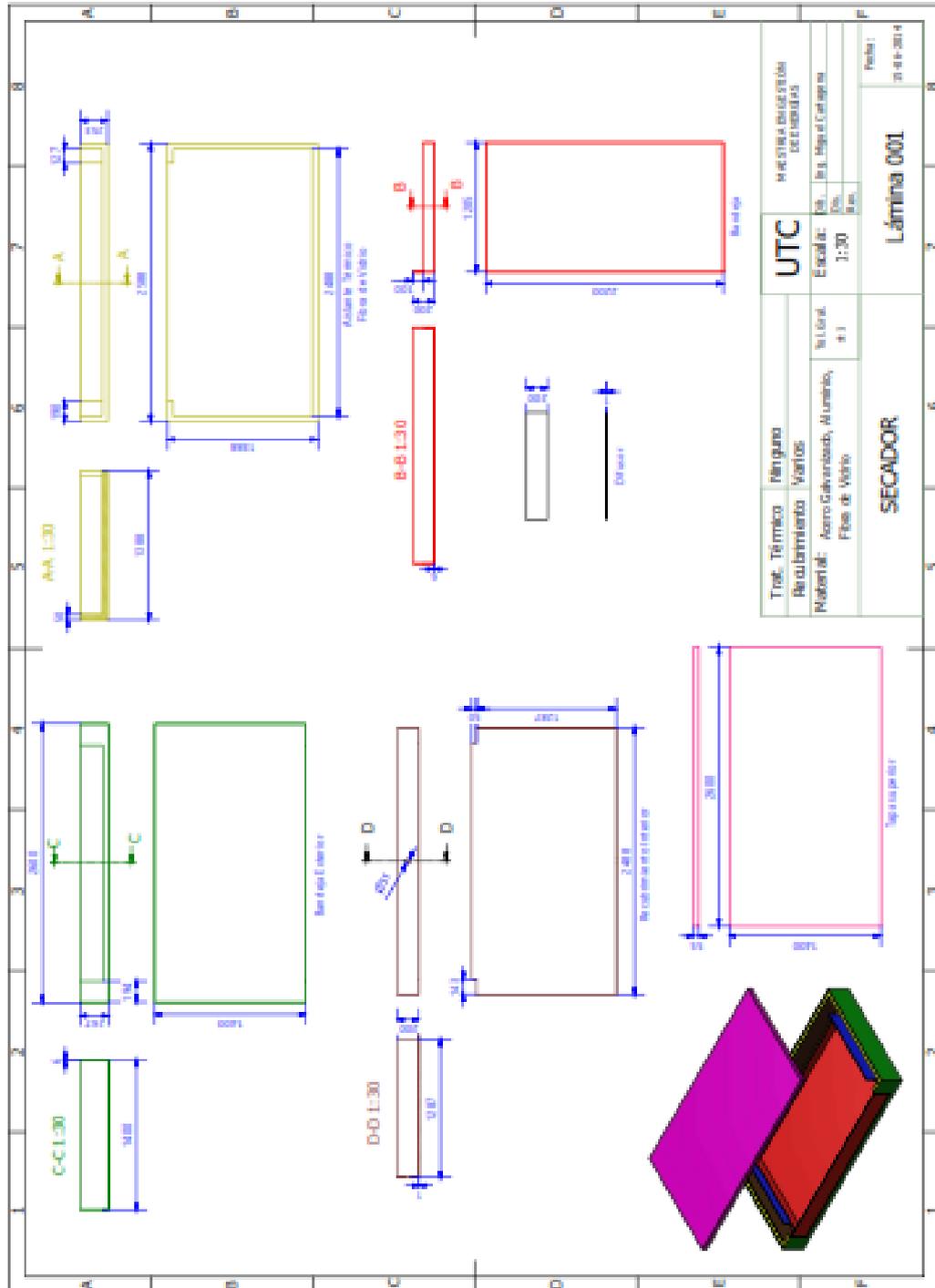
HERREJON, M. (2011). Diseño y Construcción de un horno de resistencias de recalentamiento con forma cilíndrica, [en línea]. Disponible en [bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/.../DISEÑO Y CONSTRUCCION DE](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/.../DISEÑO_Y_CONSTRUCCION_DE) [Consulta: 2013, 20 de abril]

PRIETO, R. (2013). ¿Qué elementos forman una instalación eléctrica básica de energías renovables para un almacén o casa aislada?. <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/07/disen-de-una-instalacion-electrica.html>

## **ANEXOS**

# ANEXO 1

## PLANO DEL SECADOR PROPUESTO



## ANEXO 2

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CLICHÉS NYLOFLEX

DATOS TÉCNICOS DE LOS CYRELES DEL FABRICANTE NYLOFLEX - PROCESO CONVENCIONAL					
	Unidad	Nyloflex FAR Espesor 1.14 mm (0.045")	Nyloflex FAR Espesor 1.70 mm (0.067")	Nyloflex FAR Espesor 2.30 mm (0.091")	Nyloflex FAR Espesor 2.54 mm (0.10")
Dureza	Sh A	72	61	55	53
Reproducción de imagen	%	2 - 95	2 - 95	2 - 95	2 - 95
	L/cm	60	60	60	60
Ancho mínimo de línea positiva	um	100	100	100	100
Tamaño mínimo de punto aislado	um	200	200	200	200
Profundidad de relieve	mm	0.6 - 0.7	0.7 - 0.9	0.8 - 1.2	0.9 - 1.2
Tiempo de exposición UVA	min	8 - 15	8 - 15	8 - 24	8 - 24
Velocidad de lavado	mm/min	160 - 200	160 - 200	130 - 170	130 - 170
Tiempo de secado a 60 °C	hora	1.5 - 2	2	2.5 - 3.0	2.5 - 3.0
Post tratamiento UVA	min	10	10	10	10
Acabado suave UVC	min	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15

DATOS TÉCNICOS DE LOS CYRELES DEL FABRICANTE NYLOFLEX - PROCESO CONVENCIONAL					
	Unidad	Nyloflex FAR Espesor 2.84 mm (0.112")	Nyloflex FAR Espesor 3.18 mm (0.125")	Nyloflex FAC Espesor 3.94 mm (0.155")	Nyloflex ACE Espesor 1.14 mm (0.045")
Dureza	Sh A	52	52	33	78
Reproducción de imagen	%	2 - 95	2 - 95	3 - 95	2 - 95
	L/cm	60	60	40	60
Ancho mínimo de línea positiva	um	100	100	300	100
Tamaño mínimo de punto aislado	um	200	200	750	200
Profundidad de relieve	mm	0.9 - 1.2	0.9 - 1.5	1.0 - 1.5	0.6 - 0.7
Tiempo de exposición UVA	min	8 - 24	8 - 24	7 - 16	8 - 25
Velocidad de lavado	mm/min	130 - 170	130 - 170	80 - 110	200 - 250
Tiempo de secado a 60 °C	hora	2.5 - 3.0	3.0 - 3.5	2.5 - 3.0	1.5 - 2.0
Post tratamiento UVA	min	10	10	10	10
Acabado suave UVC	min	10 - 15	10 - 15	10 - 15	2 - 10

APLICACIONES DE LAS PLANCHAS FOTOPOLIMERAS - NYLOFLEX									
TIPO DE PLANCHA	CONVENCIONAL	DIGITAL	DUREZA SHORE A	EMBALAJE FLEXIBLE	ETIQUETAS	CORRUGADO PRE-IMPRESION	CORRUGADO POST-IMPRESION	APLICACIÓN ESPECIAL	IMPRESIÓN FINAL
ACE	X	X	62	X	X	X			
AFC	X		62	X	X	X			
FAB		X	62	X	X				
FAH	X	X	60	X	X				
ACT	X	X	50	X	X	X			
FAR	X		50	X	X	X			
FAM DIGITAL		X	50	X	X	X			
ART	X	X	40	X	X	X	X		
FHC	X		40				X		
FAC	X	X	32				X		
FCC	X		30				X		
FSC DIGITAL		X	26				X		
FE	X		70					X	
SPRINT	X	X	77					X	
GOLDA	X	X	62						X
SEAL F	X	X	36						X

## ANEXO 3

### PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL PERCLOROETILENO

Propiedades físicas y químicas	
Nombre químico	Percloroetileno (tetracloroetileno)
Fórmula empírica	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>
Peso molecular (g/mol)	165,84
Fórmula estructural	CCl <sub>2</sub> =CCl <sub>2</sub>
N° CAS	000127-18-4
N° EINECS	204-825-9
N° CEE	602-028-004
Punto de ebullición	121 °C
Comienzo de la descomposición térmica	> 150 °C
Punto de congelación	-22 °C
Punto de inflamación	ninguno
Temperatura de autoignición	ninguna
Límites de explosión (% vol. en el aire)	ninguna
Solubilidad (disolvente en el agua)	0,015 % en peso (20 °C)
Solubilidad (agua en el disolvente)	0,010 % en peso (20 °C)
Azeotropo con el agua: punto de ebullición	87 °C
Agua en el condensado	15 % en peso
Densidad (20 °C)	1,623
Coefficiente volumétrico de expansión, 20 a 30 °C	0,00102/°C
Viscosidad, cP (20 °C)	0,880
Tensión superficial, dina/cm (20 °C)	32,2
Calor específico	0,90 kJ/kg/°C
Calor de vaporización en el punto de ebullición	209,8 kJ/kg
Densidad de vapor (aire = 1,00)	5,76
Rigidez dieléctrica	> 30000 V
Constante dieléctrica a 24 °C, 105 ciclos	2,24
Resistibilidad específica a 24 °C: ohmios cm	9,8 x 10 <sup>13</sup>
Velocidad de la evaporación relativa (éter dietílico = 1)	9,5
Valor Kauri Butanol	90

## ANEXO 4

### PROPIEDADES DE CIERTOS AISLANTES TÉRMICOS

PROPIEDADES DE LOS AISLANTES TÉRMICOS						
Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica (W/(m·K))	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s) (x10 <sup>-6</sup> )	Norma	Combustible (°C)
Acero	7850	460	47-58	13,01-16,06		
Agua	1000	4186	0,58	0,139		
Aire	1,2	1000	0,026	21,67		
Alpaca	8,72	398	29,1	8384,8		
Amianto	383-400	816	0,078-0,113	0,250-0,346		
Arcilla refractaria	2000	879	0,46	0,261		
Arena seca	1400	795	0,33-0,58	0,296-0,521		
Asfalto	2120	1700	0,74-0,76	0,205-0,211		
Baquelita	1270	900	0,233	0,201		
Bitumen asfáltico	1000	-	0,198	-		
Bloques cerámicos	730	-	0,37	-		
Cáñamo	150	1500	0,04-0,08	-		
Carbón (antracita)	1370	1260	0,238	0,139		
Cartón	-	-	0,14-0,35	-		
Cáscara de trigo	90	-	0,06	-		
Corcho (expandido)	120	-	0,036	-	EN 13170	
Corcho (tableros)	120	1880	0,042	0,186		
Espuma de poliuretano	40	1674	0,029	0,433	EN 13165	250
Espuma de resina fenólica					EN 13166	
	100		0,032-0,044		EN 13167	
Fibra cerámica						1500
Fibra de madera	30-60	1600-2100	0,04-0,06	-		
Fibra de madera en manta	130-250	1600-2100	0,04-0,06	-		
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200		
Fibras de la madera					EN 13171	
Glicerina	1270	2430	0,29	0,094		
Goma dura	1150	2009	0,163	0,070		
Goma esponjosa	224	-	0,055	-		
Láminas de fibra de madera	200	-	0,047	-		
Lana de madera	350-600	2100	0,09-0,1	-		
Lana de madera multiples capas	60-300	2100	0,09-0,1	-		
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299		500
Lana mineral de roca, en fibra	20-150	840	0,035-0,05	-	EN 13162	1200
Lana mineral de roca, en piedra	25-220	840	0,035-0,05	-	EN 13162	1200
Latón	8550	394	81-116	24,04-34,43		
Lino en manta	20-40	1500	0,04-0,08	-		
Lino en manta	20-40	1500	0,05	-		
Lino materia prima	40-50	1500	0,04	-		
Linóleo	535	-	0,081	-		
Madera	840	1381	0,13	0,112		
Placas de perlita expandida					EN 13169	
Poliestireno	1050	1200	0,157	0,125		
Poliestireno expandido (EPS)	12-30		0,034-0,045		EN 13163	
Poliestireno extruido					EN 13164	85
Serrín	215	-	0,071	-		
Tierra de diatomeas	466	879	0,126	0,308		
Vermiculita expandida	100	837	0,07	0,836		
Vermiculita suelta	150	837	0,08	0,637		
Virutas de madera	70	-	0,045	-		

# ANEXO 5

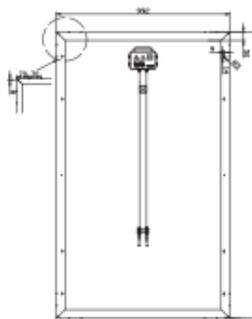
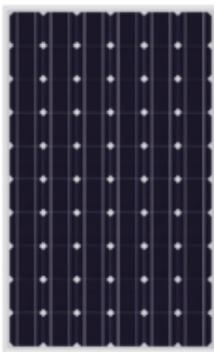
## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

EN



Specification | Photovoltaic Module

### SIMAX 156 Solarmodule (SM660-230W-240W-250W)



#### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 ( 6 x 10 )
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	19.1 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

#### Output

Cable Type	Ø = 4 mm <sup>2</sup>
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

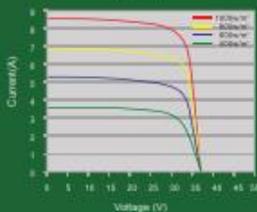
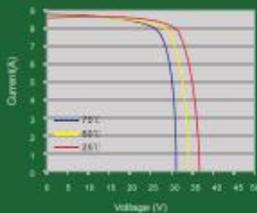
#### Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P <sub>max</sub> )	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V <sub>oc</sub> )	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I <sub>sc</sub> )	0.036% / °C



Parameters	SM660-230	SM660-240	SM660-250
Peak power [Wp] P <sub>mp</sub>	230W	240W	250W
Power Tolerance	0~+3%	0~+3%	0~+3%
Module Efficiency (%)	14.8%	15.1%	15.3%
Open circuit voltage [V] V <sub>oc</sub>	36.8	37.4	38.1
Maximum Power Voltage [V] (V <sub>mp</sub> )	29.7	30.2	30.7
Maximum Power Current [A] (I <sub>mp</sub> )	7.69	7.94	8.15
Short circuit Current [A] (I <sub>sc</sub> )	8.30	8.58	8.80

STC: Irradiance : 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1,5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s



- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥ 80% in 25 years

Simax Green New Energy (Europe) GmbH  
 Meigenhofer Allee 23 / 25  
 65700 Eschborn / Germany  
 Tel.: +49 6196 9739 525  
 Fax: +49 6196 5929 694  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.de

Simax (Suzhou) Green New Energy Co.,Ltd  
 Address: No. 367 Suzhou Road, Taicang city,  
 Jiangsu province, China  
 P.C.: 215400  
 Tel: +86 512 5337 8555  
 Fax: +86 512 5337 8556  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.com

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd  
 5/78 Frankston Gardens Drive,  
 Carrum Downs, VIC 3210  
 Tel: +61 03 9706 2400  
 Fax: +61 03 9706 2482  
 info@simaxsolar.com  
 www.simaxsolar.com.au

## ANEXO 6

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONTROLADOR DE VOLTAJE



## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### Parámetros eléctricos

	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
• Corriente máxima de batería	45 amp.	60 amp.
• Entrada nominal máxima del panel	12 Voltios	600 Watts
	24 Voltios	1200 Watts
	48 Voltios	2400 Watts
	800 Watts	1600 Watts
	2400 Watts	3200 Watts

	TS-MPPT-45 y TS-MPPT-60
• Rendimiento pico	99%
• Voltaje nominal del sistema	12, 24, 36 o 48 VCC
• Voltaje máximo del panel a circuito abierto	150 VCC
• Rango de voltaje de servicio de batería	8-72 VCC
• Consumo propio máximo	2.7 Watts
• Protección contra picos transitorios	4500 Watts/conector

#### Protecciones electrónicas

- Panel solar: Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Batería: Alto voltaje
- Alta temperatura
- Descargas atmosféricas y picos transitorios
- Corriente inversa (de noche)

#### Carga de batería

- Algoritmo de carga: 4 etapas
- Etapas de carga: Principal (a corriente constante), absorción, flotante, equalización (balance de carga)
- Compensación de temperatura
  - Coeficiente: -5 mV/°C/celda (25° de ref.)
  - Rango: -30 °C a +80 °C
  - Selector de carga: Absorción, flotante, equalización, HVD

Nota: Incluye sensor remoto de temperatura.

#### Características físicas

- Dimensiones: 29.1 x 13.0 x 14.2 cm  
11.4 x 5.1 x 5.6 pulgadas
- Peso: 4.2 kg / 9.2 libras
- Medida máxima del conductor: 35 mm<sup>2</sup> / 2 AWG
- Aberturas para conductos: M20; ½, 1, 1-¼ pulgadas
- Caja: Tipo 1 (para interiores, ventilada)  
IP20

#### Condiciones ambientales

- Temperatura ambiente: -40 °C a +45 °C
- Temperatura de almacenamiento: -55 °C a +100 °C
- Humedad: 100%, sin condensación
- Protección climática: Encapsulado de epoxi  
Revestimiento normalizado  
Terminales para atmósfera marina



#### Conectores de comunicación

	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
• MeterBus	Sí	Sí
• RS-232	Sí	Sí
• EIA-485	No	Sí
• Ethernet	No	Sí

#### Opciones

- Instrumento 2 TriStar (TS-M-2)
- Instrumento remoto 2 TriStar (TS-RM-2)
- Centralizador de instrumentos (HUB-1)
- Excitador de relés (RD-1)

#### Normas

- Cumple con normas CE
- Inscrito en ETL (UL1741)
- cETL (CSA C22.2 No. 107.1-01)
- Cumple con Parte 15, Clase B de FCC
- Cumple con el Código Eléctrico Nacional de EE.UU. (NEC)
- Cumple con RoHS
- Fabricado en una planta aprobada por normas ISO 9001.

**GARANTÍA:** Cinco años de garantía. Comuníquese con Morningstar o su distribuidor autorizado para obtener los términos completos de la garantía.

**DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:**



## ANEXO 7

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS

**UCG 150-12**  
12V 150AH  
Deep Cycle Gel



**UCG150-12**



**Physical Specification**

Part Number: **UCG150-12**

Length: **485 ± 2 mm (19.09Inches)**

Width: **170 ± 2 mm (6.69 Inches)**

Container Height: **240 ± 2 mm (9.45 inches)**

Total Height (with terminal): **240 ± 2 mm (9.45 inches)**

Approx Weight: **Approx 44 kg**

Specifications			
	Nominal Voltage	12V	
	Nominal Capacity (10HR)	150AH	
Terminal Type	Standard Terminal	F10	
	Optional Terminal	F11	
Container Material	Standard Option	ABS	
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:VO)	
Rated Capacity	160.8 AH/8.04A	(20hr,1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	150.0 AH/15.0A	(10hr,1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	131.6 AH/26.3A	(5hr,1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	119.3 AH/39.8A	(3hr,1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	96.9 AH/96.9A	(1hr,1.60V/cell, 25°C / 77°F)	
Max Discharge Current	1500A (5s)		
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)	
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)	
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 45.0A.Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C	
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%	
	25°C (77°F)	100%	
	0°C (32°F)	86%	
Design Floating Life at 20°C	15 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

## ANEXO 8

### RESISTENCIA DETERMINADA EN LA PROPUESTA

## RESISTENCIAS PARA AIRE FORZADO AL/ALG/ALEC “calefactores aleteados”

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Elementos blindados en AISI 321 o AISI 304L de Ø8 mm para mods. AL y ALEC y Ø10 mm para mods. ALG.
- Aleta de aluzinc o chapa aluminizada de 25x50 mm para mods. AL y ALEC y 40x70 MM para modelos ALG.
- Rácores engrampados de acero zincado.
- Tensión normalizada ~230V.

#### OPCIONES:

- Todo inoxidable.
- Aleta soldada redonda de 30 mm de diámetro.
- Aleta helicoidal:
  - Para tubo Ø8mm: fleje acero inox. → Ø18, Ø24  
fleje hierro → Ø23
  - Para tubo Ø10mm: fleje acero inox. → Ø20, Ø26, Ø30  
fleje hierro → Ø25, Ø30



- Otras dimensiones, potencias y tensión disponibles bajo pedido.

#### CARACTERÍSTICAS PARTICULARES PARA MODELOS AL Y ALG:

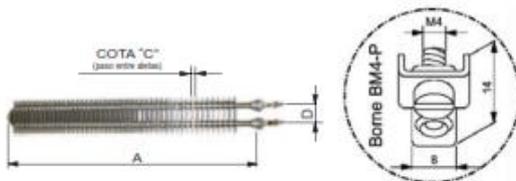
- Temperatura máxima con  $v_{\text{aire}} = 2 \text{ m/seg}$  → 200°C.
- Temperatura máx. sin ventilación ( $v_{\text{aire}} = 0 \text{ m/seg.}$ ): 60°C.
- Para temperatura ambiente superior a 60°C es necesario ventilación forzada.
- Para temperatura de trabajo superior a 125°C es necesario aislar térmicamente los bornes de conexión de la zona de calentamiento.

#### ALETADOS CON ALETAS Y RACORES EN ACERO INOXIDABLE:

Bajo pedido, podemos suministrar también los calefactores aletados de las gamas AL y ALG con aletas y racores en acero inoxidable. El modelo es el mismo pero añadiendo TODO INOX detrás.

Para calcular su precio, multiplique el precio del modelo que necesita por los coeficientes que a continuación se exponen:

- Entre 12 y 23 unid. → x 2,4
- Entre 24 y 59 unid. → x 2,2
- Más de 60 unid. → x 1,9



Descripción	Modelo	Cota A en mm	Wattios	W/cm <sup>2</sup> (*)
Aleta de 25x50 de Aluzinc o chapa aluminizada. Tubo AISI 321 o 304L Ø8 mm Racores M12x1,25 de acero zincado (long. Rosca 8 mm). Cota C = 5 mm Cota D = 25 mm	AL001	260	500	4,5
	AL002	300	600	4,6
	AL003	370	750	4,6
	AL004	430	850	4,4
	AL005	500	1000	4,4
	AL009	620	1250	4,3
	AL006	740	1500	4,3
	AL007	970	2000	4,3
Aleta de 40x70 de Aluzinc o chapa aluminizada. Tubo AISI 321 o 304L Ø10 mm Racores M14x1,25 de acero zincado (long. Rosca 11 mm). Cota C = 5,5 mm Cota D = 40 mm	ALG01	325	1000	5,3
	ALG02	470	1500	5,5
	ALG03	620	2000	5,4
	ALG04	760	2500	5,4
	ALG05	910	3000	5,4
	ALG06	1055	3500	5,5
Aleta de 25x50 de Aluzinc o chapa aluminizada Tubo AISI 321 o 304L Ø8 mm Racores M12x1,25 de acero zincado (long. Rosca 8 mm) Cota C = 5 mm Cota D = 25 mm	AL010 (1)	200	100	1,2
	AL012 (1)	200	150	1,8
	AL011 (1)	200	200	2,5

(\*) Los W/cm<sup>2</sup> se calculan respecto al tubo de la resistencia.

(1) La gama de calefactores aletados AL010, AL011 y AL012 está concebida para calefacción de armarios de maniobra u otras aplicaciones en las que la temperatura de trabajo sea similar.



ANEXO 10

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE CHI CUADRADO

TABLA 3-Distribución Chi Cuadrado  $\chi^2$

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	10.8274	9.1404	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	2.7055	2.0722	1.6424	1.3233	1.0742	0.8735	0.7083	0.5707	0.4549
2	13.8150	11.9827	10.5965	9.2104	7.3778	5.9915	4.6052	3.7942	3.2189	2.7726	2.4079	2.0996	1.8326	1.5970	1.3863
3	16.2660	14.3202	12.8381	11.3449	9.3484	7.8147	6.2514	5.3170	4.6416	4.1083	3.6649	3.2831	2.9462	2.6430	2.3660
4	18.4662	16.4238	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877	7.7794	6.7449	5.9886	5.3853	4.8784	4.4377	4.0446	3.6871	3.3567
5	20.5147	18.3854	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	9.2363	8.1152	7.2893	6.6257	6.0644	5.5731	5.1319	4.7278	4.3515
6	22.4575	20.2491	18.5475	16.8119	14.4494	12.5916	10.6446	9.4461	8.5581	7.8408	7.2311	6.6948	6.2108	5.7652	5.3481
7	24.3213	22.0402	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	12.0170	10.7479	9.8032	9.0371	8.3834	7.8061	7.2832	6.8000	6.3458
8	26.1239	23.7742	21.9549	20.0902	17.5345	15.5073	13.3616	12.0271	11.0301	10.2189	9.5245	8.9094	8.3505	7.8325	7.3441
9	27.8767	25.4625	23.5893	21.6660	19.0228	16.9190	14.6837	13.2880	12.2421	11.3887	10.6564	10.0060	9.4136	8.8632	8.3428
10	29.5879	27.1119	25.1881	23.2093	20.4832	18.3070	15.9872	14.5339	13.4420	12.5489	11.7807	11.0971	10.4732	9.8922	9.3418
11	31.2635	28.7291	26.7569	24.7250	21.9200	19.6752	17.2750	15.7671	14.6314	13.7007	12.8987	12.1836	11.5298	10.9199	10.3410
12	32.9092	30.3182	28.2997	26.2170	23.3367	21.0261	18.5493	16.9893	15.8120	14.8454	14.0111	13.2661	12.5838	11.9463	11.3403
13	34.5274	31.8830	29.8193	27.6882	24.7356	22.3620	19.8119	18.2020	16.9848	15.9839	15.1187	14.3451	13.6356	12.9717	12.3398
14	36.1239	33.4262	31.3194	29.1412	26.1189	23.6848	21.0641	19.4062	18.1508	17.1169	16.2221	15.4209	14.6853	13.9961	13.3393
15	37.6978	34.9494	32.8015	30.5780	27.4884	24.9958	22.3071	20.6030	19.3107	18.2451	17.3217	16.4940	15.7332	15.0197	14.3389
16	39.2518	36.4555	34.2671	31.9999	28.8453	26.2962	23.5418	21.7931	20.4651	19.3689	18.4179	17.5646	16.7795	16.0425	15.3385
17	40.7911	37.9462	35.7184	33.4087	30.1910	27.5871	24.7690	22.9770	21.6146	20.4887	19.5110	18.6330	17.8244	17.0646	16.3382
18	42.3119	39.4220	37.1564	34.8052	31.5264	28.8693	25.9894	24.1555	22.7595	21.6049	20.6014	19.6993	18.8679	18.0860	17.3379
19	43.8194	40.8847	38.5821	36.1908	32.8523	30.1435	27.2036	25.3289	23.9004	22.7178	21.6891	20.7638	19.9102	19.1069	18.3376
20	45.3142	42.3358	39.9969	37.5663	34.1696	31.4104	28.4120	26.4976	25.0375	23.8277	22.7745	21.8265	20.9514	20.1272	19.3374
21	46.7963	43.7749	41.4009	38.9322	35.4789	32.6706	29.6151	27.6620	26.1711	24.9348	23.8578	22.8876	21.9915	21.1470	20.3372
22	48.2676	45.2041	42.7957	40.2894	36.7807	33.9245	30.8133	28.8224	27.3015	26.0393	24.9390	23.9473	23.0307	22.1663	21.3370
23	49.7276	46.6231	44.1814	41.6383	38.0756	35.1725	32.0069	29.9792	28.4388	27.1413	26.0184	25.0055	24.0689	23.1852	22.3369
24	51.1790	48.0336	45.5584	42.9798	39.3641	36.4150	33.1962	31.1325	29.5533	28.2412	27.0960	26.0625	25.1064	24.2037	23.3367
25	52.6187	49.4351	46.9280	44.3140	40.6465	37.6525	34.3816	32.2825	30.6752	29.3388	28.1719	27.1183	26.1430	25.2218	24.3366
26	54.0511	50.8291	48.2898	45.6416	41.9231	38.8851	35.5632	33.4295	31.7946	30.4346	29.2463	28.1730	27.1789	26.2395	25.3365
27	55.4751	52.2152	49.6450	46.9628	43.1945	40.1133	36.7412	34.5736	32.9117	31.5284	30.3193	29.2266	28.2141	27.2569	26.3363
28	56.8918	53.5939	50.9936	48.2782	44.4608	41.3372	37.9159	35.7150	34.0266	32.6205	31.3909	30.2791	29.2486	28.2740	27.3362
29	58.3006	54.9662	52.3355	49.5878	45.7223	42.5569	39.0875	36.8538	35.1394	33.7109	32.4612	31.3308	30.2825	29.2908	28.3361

