



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ ULTRAVIOLETA,
PARA CURADO DE TINTAS EN PROCESOS LITOGRAFICOS**

Oscar Ramiro Morales Curruchich

Asesorado por el Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ ULTRAVIOLETA, PARA
CURADO DE TINTAS EN PROCESOS LITOGRAFICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OSCAR RAMIRO MORALES CURRUCHICH

ASESORADO POR EL ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Edwin Efraín Segura
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ ULTRAVIOLETA, PARA CURADO DE TINTAS EN PROCESOS LITOGRAFICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 julio de 2005,

Oscar Ramiro Morales Curruchich



REF. EIME 38. 2010.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Oscar Ramiro Morales Curruchich titulado: "EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ ULTRAVIOLETA PARA CURADO DE TINTAS EN PROCESOS LITOGRAFICOS", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero



GUATEMALA, 25 DE OCTUBRE 2010.



Ref. EIME 75. 2011

Guatemala, 23 de MARZO 2010.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ
ULTRAVIOLETA PARA CURADO DE TINTAS EN PROCESOS
LITOGRAFICOS", del estudiante Oscar Ramiro Morales
Curruchich, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Otto Fernando Andriano González
Coordinador de Electrotécnica

OFAG /sro



Guatemala, septiembre 14 de 2010

Ingeniero Guillermo Puente
Director de la Escuela de
Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he revisado el estudio de Tesis titulado "EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ ULTRAVIOLETA PARA CURADO DE TINTAS EN PROCESOS LITOGRAFICOS" desarrollado por el estudiante de Ingeniería Eléctrica Oscar Ramiro Morales Curruchich, quién contó con la asesoría del suscrito, el cual ha sido completado a mi satisfacción.

Por lo anterior doy mi aprobación al mismo como Asesor de Tesis y Coordinador del área de electrotecnia para el mencionado trabajo, finalmente aprovecho esta oportunidad para saludarlo cordialmente.

Atentamente,

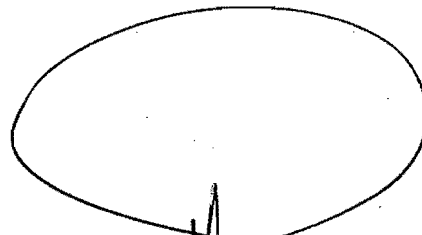

Ing. Otto Fernando Andriano Gonzalez
CATEDRATICO ASESOR



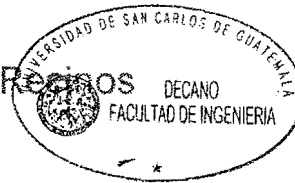
Ref. DTG.444-2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE HORNOS DE LUZ ULTRAVIOLETA, PARA CURADO DE TINTAS EN PROCESOS LITOGRAFICOS**, presentado por el estudiante universitario Oscar Ramiro Morales Curruchich, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Ríos
Decano



Guatemala, octubre de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Miguel Angel Curruchiche Gómez (q.e.p.d.), Sebastiana Morales Bal, por su interminable esfuerzo, apoyo y ejemplo en esta vida, que me ayudo a completar esta meta propuesta.
- Mis hermanos** Juan Miguel, Meylin Patricia, para que esta etapa de mi vida sea un ejemplo y continúen luchando para alcanzar sus metas propias.
- Mi esposa** Keren Abigail Veliz Fernández, por su apoyo, compañía y esfuerzo personal que ha demostrado estos últimos años para alcanzar sus metas.
- Mis hijos** Cristian Emmanuel, Wagner Josué, alegría y orgullo de mi vida, para que en el futuro también busquen ser personas de bien a la sociedad.
- Mis abuelos** Felipe Morales (q.e.p.d.), María Asunción Bal, con mucho cariño y respeto.
- Mis tíos y primos** Con mucha alegría comparto con ustedes esta meta alcanzada.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Señor Nuestro, Ser Supremo que da la vida y que me dio la fortaleza para continuar mis estudios hasta obtener este triunfo que comparto con todos mis seres queridos.
Ing. Otto Fernando Andrino González	Quien desinteresadamente me apoyó para la realización de este trabajo con su asesoría profesional y del cual nos hemos beneficiado varios estudiantes.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Especialmente a la Facultad de Ingeniería por ayudar a la formación de nuevos profesionales.
Empresa Grupo Zapata de Guatemala	Por el apoyo brindado para la realización técnica de este trabajo.
Mis amigos	Que con sus palabras y consejos de aliento me motivaron para la culminación de este trabajo.
Usted	Gracias por leer este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES DEL PROCESO DE LITOGRAFÍA	1
1.1. Historia de la litografía	1
1.1.1. Litografiado en hojalata	2
1.1.2. Secado y curado de tintas litográficas	3
1.2. Litografía en horno convencional	4
1.2.1. Zonas de secado	7
1.2.2. Tiempos de secado	8
1.2.3. Tintas	8
1.3. Litografía en horno UV	10
1.3.1. Zonas de curado	13
1.3.2. Tiempos de curado	14
1.3.3. Tintas	14
2. EL HORNO ULTRAVIOLETA	19
2.1. Generalidades del espectro electromagnético	19
2.1.1. El espectro ultravioleta	21
2.1.2. Medición de la intensidad ultravioleta	22
2.2. Curado en horno UV	25

2.2.1.	Funcionamiento del horno UV	26
2.2.1.1.	Sistemas de enfriamiento (<i>chillers</i>)	28
2.2.1.2.	Sistemas neumáticos	28
2.2.1.3.	Sistemas mecánicos	29
2.2.1.4.	Sistema eléctrico	30
2.2.2.	Lámparas UV	31
2.2.2.1.	Tipos de lámparas UV	37
2.2.2.2.	Tiempo de vida	41
2.2.3.	Reflectores	42
2.2.4.	Obturadores o cortinas	44
2.2.5.	Niveles de radiación	45
2.3.	La línea litográfica UV	47
2.3.1.	Sistema de operación	48
2.3.1.1.	Sistema de control para sincronía UV	49
3.	SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO	53
3.1.	Delimitación del campo objeto de estudio	53
3.2.	Causas de los tiempos muertos.....	55
3.2.1.	Lámparas UV	56
3.2.2.	Sistemas de cortinas o obturadores.....	57
3.2.3.	Niveles de radiación	57
3.2.4.	Reflectores	59
3.2.5.	Interruptores de seguridad	59
3.2.5.1.	Interruptores de seguridad de cabina de horno	59
3.2.5.2.	Interruptores de seguridad de balastros.....	60
3.2.6.	Páneles eléctricos.....	60
3.3.	Tiempos de exposición a la radiación UV	66
3.4.	Sistema de enfriamiento	67

4.	PROPUESTA DE MEJORAS A HORNO LITOGRÁFICO UV	69
4.1.	Fallas eléctricas.....	70
4.1.1.	Lámparas UV	70
4.1.1.1.	Situación actual de la lámpara UV	71
4.1.1.2.	Solución	72
4.1.1.3.	Diseño.....	72
4.2.	Fallas operativas del horno UV	74
4.2.1.	Solución a fallas operativas, ajuste de altura de lámparas	74
4.2.1.1.	Importancia de ajuste de altura de lámparas UV	74
4.2.1.2.	Propuesta para ajuste correcto de altura de lámparas	76
4.2.2.	Solución a fallas operativas, ajuste de nivel de radiación	77
4.2.2.1.	Ajuste del nivel de radiación	77
4.2.2.2.	Elaboración de tabla para ajuste del nivel de radiación	81
4.2.2.3.	Ventaja de uso de tabla para ajuste, nivel de radiación	83
4.3.	Fallos mecánicos en el horno UV	84
4.3.1.	Fallo de apertura de cortinas de lámparas	84
4.3.1.1.	Solución a falla de apertura de cortina	84
4.3.1.2.	Propuesta.....	85
4.4.	Falla en nivel de enfriamiento	85
4.4.1.	Solución a falla de nivel de enfriamiento.....	85
4.4.2.	Propuesta para mejoramiento del sistema de enfriamiento.....	87
4.5.	Falla en reflectores.....	88
4.5.1.	Situación actual	90
4.5.2.	Solución.....	90
4.5.3.	Propuesta	90
4.6.	Seguridad en la cabina del horno UV	91

4.6.1.	Control de fugas en la cabina del horno UV.....	91
4.6.1.1.	Fuga de radiación infrarroja.....	91
4.6.1.2.	Fuga de luz visible.....	92
4.6.1.3.	Fuga de gas ozono.....	92
4.6.2.	Situación actual.....	93
4.6.3.	Propuesta.....	93
5.	EFICIENCIA Y SEGURIDAD DEL HORNO UV.....	97
5.1.	Eficiencia.....	98
5.2.	Mantenimiento general de equipos.....	100
5.2.1.	Mantenimiento a horno UV.....	105
5.2.1.1.	Mantenimiento preventivo.....	105
5.2.1.2.	Mantenimiento predictivo.....	110
5.3.	Control de nivel de radiación.....	113
5.4.	Índices de mantenimiento.....	115
5.4.1.	Índice de disponibilidad total.....	116
5.4.2.	Índice de mantenimiento programado.....	117
5.5.	Demostración de rentabilidad de inversión, cálculo de TIR.....	118
5.6.	Seguridad personal y de equipos.....	120
5.6.1.	Seguridad en el uso del equipo.....	121
5.6.2.	Seguridad personal.....	123
	CONCLUSIONES.....	127
	RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFIA.....	131
	APÉNDICES.....	132

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Dibujo de quemador de horno convencional.....	5
2. Dibujo de horno convencional.....	6
3. Componentes de tinta convencional.....	10
4. Dibujo de horno de lámparas ultravioleta.....	12
5. Componentes de tinta ultravioleta.....	16
6. Proceso de polimerización de tintas UV.....	17
7. Espectro electromagnético.....	20
8. Espectro ultravioleta.....	21
9. Dirección de la intensidad UV.....	23
10. Diagrama eléctrico de reactores en serie para control de nivel de radiación.....	26
11. Distribución de lámparas UV en la cabina del horno.....	27
12. Movimiento mecánico para apertura de cortinas.....	30
13. Esquema de sistema eléctrico del horno UV.....	31
14. Gráfica de longitud de onda del mercurio a baja presión.....	33
15. Gráfica de espectro de mercurio de media presión.....	34
16. Gráfica de espectro de mercurio de media presión con haluros.....	35
17. Construcción de lámpara de mercurio de media presión.....	37
18. Gráfica de elementos necesarios para formar tipos de lámparas.....	38
19. Dibujo de reflector lineal parabólico de haz de luz paralelo.....	43
20. El reflector lineal elíptico para irradiar sobre una franja.....	43
21. Dibujo del reflector lineal elíptico.....	44
22. Dibujo de tipos de cortinas u obturadores.....	45

23. Diagrama eléctrico de potencia de una lámpara UV.....	46
24. Dibujo de línea completa de litografía de curado de tintas por medio de UV.....	48
25. Sistema de retroalimentación negativa para sincronía de prensa 1 y prensa 2....	51
26. Diagrama de tiempos de proceso de encendido de horno UV.....	54
27. Diagrama de causa-raíz de tiempos muertos debido a fallos en el horno UV.....	55
28. Fotografía de panel eléctrico de control de encendido de lámparas UV.....	61
29. Dibujo de deformación de lámpara en forma de arco y la radiación irregular.....	68
30. Circuito eléctrico para contador y horómetro de encendido de lámpara UV.....	73
31. Ejemplo de posición de lupa para simular intensidad UV.....	75
32. Gráfica de reactancia capacitiva vrs. nivel de radiación UV.....	80
33. Fotografía de lámpara UV quebrada en uno de sus extremos.....	86
34. Temperaturas de operación normales de lámpara UV.....	87
35. Tipos de reflectores.....	89

TABLA

I. Tabla de funciones de panel de horno.....	62
II. Tabla de niveles de radiación.....	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos	Significado
A	Amperio
UV-A	Espectro ultravioleta A
UV-B	Espectro ultravioleta B
UV-C	Espectro ultravioleta C
Kpa	Kilopascal
Kw	Kilovatio
Kv	Kilovolt
m	Metro
Mj	Milijoule
Nm	Nanómetro
Pa	Pascal

TIR	Tasa de retorno de inversión
UV	Ultravioleta
VAC	Voltaje de corriente alterna
W	Watt

GLOSARIO

Balastro	Dispositivo que sirve para mantener un flujo de corriente estable, actúa como reactancia en serie.
Colimación	Proceso de alineación de lentes.
Cortina	Dispositivo similar al obturador.
Curado de tintas	Transformación de los fluidos de la tinta, reactivos y aditivos en los procesos por medio de hornos de luz ultravioleta.
Eficiencia	Capacidad de hacer un trabajo minimizando el consumo de recursos y tiempo.
Espectro ultravioleta	Parte del espectro electromagnético que compone las regiones UVA, UVB y UVC.
Espectro UVA	Parte del espectro ultravioleta que comprende un rango entre 320 a 390 nanómetros de longitud de onda.
Espectro UVB	Parte del espectro ultravioleta que comprende un rango entre 80 a 320 nanómetros de longitud de onda.

Espectro UVC	Parte del espectro ultravioleta que comprende un rango menor a 280 nanómetros de longitud de onda.
Gas ozono	Moléculas de oxígeno que en concentraciones grandes ocasionan riesgos para la salud.
Horno convencional	Cabina de gran magnitud de tamaño compuesto por quemadores basándose en la quema combustibles, tiene por objeto el secado de tintas.
Horno ultravioleta	Cabina compuesta por lámparas ultravioleta que tiene por objeto el curado de tintas por el proceso de polimerización debido a la radiación ultravioleta emitida por las lámparas.
Lámpara UV	Fuente de generación de radiación ultravioleta.
Litografía	Proceso de impresión por medio de contacto directo entre dos superficies.
Luz ultravioleta	Parte de la radiación electromagnética comprendida en el espectro entre los 400 y 15 nanómetros de longitud de onda.
Mantenimiento	Acciones que buscan obtener la mejor condición física de los equipos durante cualquier etapa de producción.
Molécula	Formación de un grupo de átomos unidos por enlaces covalentes.

Monómero	Compuesto de molécula simple de masa pequeña que unida a varios de estos se convierten en polímeros.
Obturador	Dispositivo mecánico que abre y cierra en un tiempo controlado para limitar la radiación ultravioleta en un punto.
Polimerización	Proceso por el cual los monómeros se alinean entre sí dando lugar a una molécula de gran peso.
Radiómetro	Aparato que mide la intensidad de radiación ultravioleta.
Reflector	Espejo o superficie utilizada para enfocar la radiación o cualquier otro tipo de onda en varias direcciones.
Secado de tintas	Evaporación de fluidos, solventes y aceites para dejar solamente los pigmentos de tinta en los procesos por hornos, a partir de quema de combustible.
Seguridad	Ausencia de riesgos y peligros para el personal y maquinaria.
Tiempo muerto	Tiempo en el que no existe producción debido a fallos en el equipo o maquinaria.
TIR	Tasa de retorno de inversión.

RESUMEN

La litografía actual tiene su importancia en que existe diversidad de métodos para conseguir plasmar una leyenda en diferentes objetos, la diferencia fundamental se encuentra en que con métodos antiguos el secado de las tintas se hacían manualmente o por medio de horno, basándose en la elevación de temperatura; actualmente este proceso está siendo reemplazado por secado o curado instantáneo de las tintas, esto se logra por medio del aprovechamiento de la radiación ultravioleta que generan lámparas, especialmente diseñadas para trabajar con longitudes de onda en el rango del espectro electromagnético UVB, que generan su máxima intensidad en este rango y que están dispuestas en una cabina para este fin. Para lograr el curado se debe conocer de forma técnica, los factores que influyen en el mismo, siendo éstos: la altura de las lámparas sobre el objeto a curarse, el tiempo de exposición a la radiación UV, y el mantenimiento necesario a la cabina del horno UV para obtener el mayor beneficio.

En este trabajo de graduación se pretende mejorar, de una forma técnica, algunos procedimientos actuales en la operación y mantenimiento de varios hornos de luz ultravioleta utilizados para el curado de tintas en procesos de litografía de una industria en particular.

El horno convencional fue una de las primeras máquinas que se desarrollaron para el secado de tintas en el ámbito industrial y su construcción y funcionamiento eran simples, el objetivo era transportar aire caliente en direcciones paralelas, circulares o directas al elemento a curarse.

El horno convencional presenta varias desventajas, entre ellas las de un alto consumo de combustible diesel para el funcionamiento de los quemadores de cada una de las zonas,

el tiempo que tarda el objeto en el secado de las tintas; éste normalmente es de veinte minutos para la zona de precalentamiento, treinta para la zona de curado y de aproximadamente diez minutos para la zona de enfriamiento.

El área y volumen físico que ocupa toda la cabina del horno convencional es hasta diez veces más que el de un horno ultravioleta, los motores que generan el aire por medio de los tanques pulmones son normalmente de potencias mayores a los cuarenta caballos de fuerza, lo anterior hace que el secado por el método convencional se vaya haciendo menos utilizado cada día.

La mejora en el proceso de secado de tintas lo constituye el horno de lámparas ultravioleta, que basa su principio en el curado de las tintas por medio de la exposición directa de la radiación en el espectro electromagnético ultravioleta, el cual es por medio de lámparas de alta intensidad creadas para este propósito.

Su principio de funcionamiento es el siguiente: la exposición directa de los pigmentos de tinta a la radiación ultravioleta generada por las lámparas diseñadas para este propósito hacen que las moléculas de las tintas se cristalicen, mediante el proceso de polimerización de los pigmentos impregnándose en el objeto que los transporta, a este procedimiento se le conoce como curado de la tinta.

OBJETIVOS

General

Mostrar el avance tecnológico en el curado de tintas por procesos de radiación ultravioleta con respecto a métodos convencionales y la importancia de la correcta operación de este equipo para el aumento de la eficiencia y seguridad, tanto del equipo como del personal.

Específicos

1. Crear los lineamientos técnicos que permitan llevar un control adecuado de operación y seguridad para personal y maquinaria. Fomentar la mejora en el mantenimiento preventivo, lo cual tendrá como resultado el aumento de la eficiencia del horno en función del tiempo.
2. Implementar una mejora en la cabina del horno que dará como resultado la reducción en la merma de producción.

INTRODUCCIÓN

El proceso litográfico a escala industrial requiere, como todo trabajo actual, alta eficiencia en la optimización de recursos y sobretodo el tiempo, este último es la base para el cálculo de diversos factores entre los cuales está el costo de operación.

A medida que la tecnología avanza los procesos se hacen en menor tiempo, para satisfacer la creciente demanda de servicios. Como ejemplo es el secado de tintas de impresión en hojalata. Este proceso se hacía por métodos convencionales o tradicionales, como tener expuesta la tinta por varios minutos a temperaturas elevadas en hornos de grandes dimensiones de largo, para crear un ambiente a temperatura constante por varios minutos, lo suficiente para secar la tinta.

Actualmente, estos hornos han sido sustituidos por otros de mayor eficiencia en consumo de energía y aprovechamiento de tiempo, este es el caso del horno de curado de tintas por medio de radiación ultravioleta, en el que la radiación es especialmente generada en cierto rango de frecuencia del espectro electromagnético, el cual permite realizar un secado de tintas casi instantáneamente al percibir este tipo de radiación, esto hace que el tiempo disminuya, la cantidad de producción aumente y el costo de energía se reduzca en comparación de un horno del tipo convencional.

Este estudio tendrá como fin realizar algunas mejoras técnicas en niveles de seguridad del personal y equipo de un horno de curado de tintas por proceso de exposición a radiación ultravioleta; actualmente en el campo objeto de estudio hace falta crear lineamientos técnicos en varios de los procesos de mantenimiento al horno, tales como: la forma correcta del reemplazo de lámparas que generan la radiación ultravioleta, la altura óptima entre

lámparas con respecto al material a curarse, el cálculo correcto del nivel de radiación, la importancia de la limpieza de los materiales reflectivos de cada lámpara, entre otros.

1. GENERALIDADES DEL PROCESO DE LITOGRAFÍA

1.1. Historia de la litografía

La litografía se inició como un método de impresión sobre una superficie plana. Se basa en que la grasa y el agua no se mezclan. El alemán Alois Senefler, descubrió la litografía en 1798. Él diseñó un dibujo en una piedra con crayola grasosa, después humedeció la piedra y el agua se adherió solamente a la superficie no cubierta por el diseño.

Después, entintó la piedra y la tinta grasosa se adherió solamente al diseño, después, Senefelder prensó el papel a la piedra y así transfirió la imagen al papel. El mismo principio es usado actualmente en la impresión comercial.

Placas delgadas de metal han reemplazado la piedra, y las imágenes son puestas fotográficamente en las placas. La prensa impresora no transfiere las imágenes entintadas directamente de las placas al papel. En lugar de eso, la prensa primero (offsets-retrocalcada) transfiere la imagen a un cilindro cubierto de hule, el cual después la transfiere al papel u otro material para ser impreso.

Las prensas (offsets-retrocalcado) son prensas rotatorias. La placa impresora está sujeta al cilindro de placa. Mientras el cilindro da vueltas, presiona contra los rodillos de agua, que humedecen la placa para que las áreas de no impresión repelan la tinta.

El cilindro pasa después contra los rodillos de tinta. La tinta grasosa se impregna solamente en las áreas de imagen. El cilindro de placa gira para transferir las imágenes de tinta a un cilindro de mantillas de hule que cuando gira transfiere la imagen al papel acarreado por el cilindro de impresión.

Offset se desarrolló a partir de 1900 en América, como un método para imprimir hojas de lata para hacer latas y cajas de hojalata. Recientemente, se ha aplicado a casi todo tipo de impresión, desde la más barata hasta la más cara.

Offset ha reemplazado los antiguos métodos de litografía, en las cuales la impresión era hecha directamente de la piedra o placa de metal al papel.

1.1.1. Litografiado en hojalata

El proceso de litografiado en hojalata es la técnica de impresión, en la cual se transfiere una imagen a la hojalata por medio del contacto directo con la imagen bañada en tinta. La hojalata utilizada para litografiar posee características importantes en su diseño para realizar el proceso de litografiado, siendo éstos: el espesor de la lámina, el cual dependiendo del uso del producto final tiene distintos tamaños; para un producto por ejemplo, de envases de aerosol, el espesor de la lámina es de aproximadamente 0.2 mm. El peso es otra característica a tomar en cuenta en la hojalata, siguiendo con el ejemplo de los envases de aerosol como producto final, este es de aproximadamente 0.9 a 1 Kg. El temple o dureza de la lámina, las medidas de la hojalata y la dirección de las fibras deben tomarse en cuenta para un litografiado en este material.

Las razones por las cuales son importantes las características anteriores son las siguientes: el espesor de la hojalata es importante tenerlo en cuenta debido a que la impresión en la misma es por contacto directo a la imagen bañada en tinta y del nivel de presión que se tenga entre la hojalata, y la superficie de tinta depende la tonalidad de los colores que queden impresos en la hojalata. El peso de la hojalata es fundamental a la hora de transportarla del lugar de impresión al horno de curado, como la hojalata no puede ser manipulada, seguidamente después que sale del lugar de impresión por estar la tinta fresca, algún método de transporte es necesario en el cual el peso de varias láminas puede volverse crítico.

El temple o dureza de la lámina debe tomarse en cuenta, esto porque dependiendo de la imagen a imprimírsele, se hace necesario algunas veces realizar más de algún corte en la hojalata y si ésta es demasiado dura puede dañar la tijera o cuchillas de corte. Las medidas de la lámina, en cuanto a su área, debe tenerse en cuenta porque de esto depende que tanto tiempo de curado deba aplicársele, así como también, qué tenga la medida necesaria para ingresar ala prensa de impresión y al horno de curado.

La lámina de hojalata en su fabricación tiene una dirección de corte para darle el área necesaria, esta dirección de corte se le conoce como dirección de fibras, esta característica es importante porque dependiendo del uso de la lámina litografiada, por ejemplo algún tipo de doblez o corte en la misma dirección que la de las fibras pueden provocar cortes irregulares en la lámina.

Siendo la hojalata una superficie no porosa, la tinta que se utiliza para la impresión debe tener ciertas cualidades para un curado por métodos convencionales y métodos de luz ultravioleta.

1.1.2. Secado y curado de tintas litográficas

En términos simples, el secado de la tinta se produce en las tintas convencionales cuando el vehículo (solvente, aceite) se evapora o absorbe y deja tras de sí los elementos sólidos (pigmentos, resinas, ceras, secadores, etc.) para que se forme una película sobre la superficie del sustrato.

Por otra parte, en el curado por energía, todos los componentes de la tinta o el recubrimiento permanecen sobre la superficie del sustrato, pero se transforman químicamente en una película dura mediante la exposición a luces ultravioletas (UV) o a un haz concentrado de electrones de alta energía (EB).

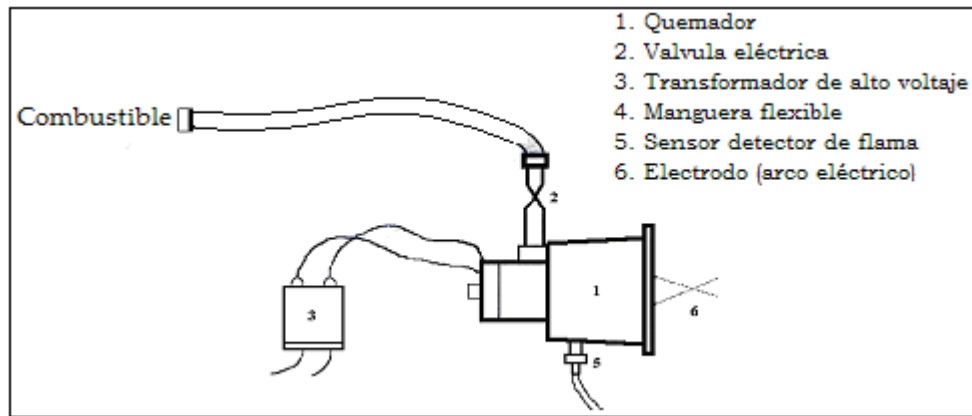
La diferencia entre ambos reside en la química de los materiales de las tintas y los recubrimientos, como también en el equipo de la sala de prensa que se utiliza para suministrar energía al proceso de curado, por lo anteriormente expuesto, tenemos que secado y curado de tintas, que se refieren a lo mismo, pero secado de tintas es referido a tintas convencionales y curado es referido a tintas UV.

1.2. Litografía en horno convencional

Para el secado de materiales, tales como: tintas, arcilla, plásticos, metales y otros, se utilizan hornos especiales, que tienen características en cuanto a diseño, que dependen del material a tratar. Para un horno litográfico de secado de tintas, el proceso se realiza por la inyección de aire caliente al objeto al cual se le debe secar la tinta. El aire caliente es el producto de la quema de combustible, ventiladores de gran tamaño son los encargados de hacer circular el aire por la parte interior del horno.

La cabina de un horno convencional para secado de tintas en hojalata comprende una longitud de 29 a 30 metros, una altura de 3 metros y un ancho de 1.3 metros con una entrada en un extremo y la salida en el extremo opuesto. Motores de hasta quince caballos de fuerza son los encargados de guiar por medio de una cadena desde la entrada hasta la salida la hojalata que es el material al cual se le impregna el barniz o tinta a secarse.

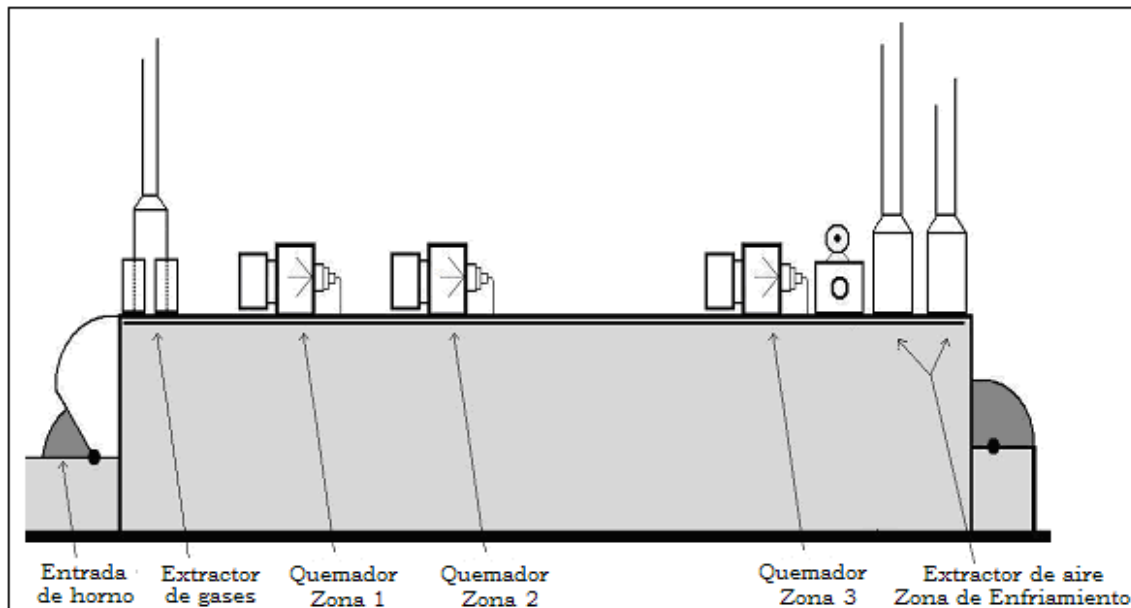
Figura 1. **Dibujo de quemador de horno convencional**



Fuente: elaboración propia.

El calor, que es la energía que se utiliza para el secado de las tintas, es el producto de la quema de combustible. El calor es generado por tres quemadores como el de la figura 1 ubicados en la parte superior del horno, cada quemador se encuentra separado una distancia tal, que define claramente tres zonas o niveles de temperatura. Debido a que el fuego es el producto de la reacción química de combustible y calor en presencia de oxígeno, sostenidas por una reacción en cadena; el mismo principio es utilizado por el quemador del horno convencional, en el cual el oxígeno o aire para nuestro caso es proporcionado por un motor ventilador, el combustible es inyectado por medio de boquillas a presión y el calor es generado por una chispa eléctrica, producto de un arco eléctrico que se forma con un transformador de alto voltaje.

Figura 2. **Dibujo de horno convencional**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 2, un horno convencional posee tres quemadores y cada quemador define una zona o región de calentamiento, por lo cual tenemos tres zonas o regiones en todo el trayecto del horno las cuales son: Zona 1 o zona de precalentamiento, zona 2 o zona de calentamiento y zona 3 o zona de curado, cabe mencionar que algunos fabricantes y operadores de horno reconocen una cuarta zona que no depende del quemador y que es conocida como zona de enfriamiento.

El proceso de secado, desde que la hoja entra hasta que sale del horno convencional, toma aproximadamente 22 minutos. La ventaja que presenta este tipo de horno es la sencillez de operación y el control preciso, que se puede obtener de la temperatura para cada zona. Las desventajas que presenta el horno son: el volumen que ocupa dentro de la planta, el tiempo total de secado para un solo color de tinta o de barniz y el consumo de energía eléctrica; ya que el horno necesita de motores eléctricos

para extraer los gases que se crean cuando los solventes de tintas son curados, motores para generar el aire de combustión de cada zona, motores para hacer circular aire caliente dentro del horno, motores para inyectores de aire frío, etc.

1.2.1. Zonas de secado

El horno convencional está dividido en tres regiones conocidas como zonas; cada una con un quemador, esto debido a que el tiempo en el que se encuentra el material a secarse dentro del horno no puede ser modificado, éste siempre es constante, lo único que puede ser modificado en la operación es el nivel de temperatura. El fabricante de las tintas o barnices convencionales establece el nivel de temperatura al que deben ser secados sus productos con un tipo de horno como el estudiado que ofrece con una longitud de 29 metros y que tarda 20 minutos desde que entra la hojalata hasta que sale una velocidad de 1.45 metros/minuto el tiempo necesario para el secado. Debido a que la temperatura no es constante en el interior del horno porque existe fuga de calor en la entrada y salida del horno por no estar cerrados, se ve en la necesidad de distribuir el tiempo en el cual se obtiene la temperatura de secado en zonas, las cuales se denominan:

- Zona 1 o de precalentamiento, es donde se eleva la temperatura de todo el material que entra al horno, desde la temperatura ambiente de una forma gradual a una temperatura cercana a la temperatura de secado, en esta zona es importante mantener una adecuada velocidad de pasaje de aire caliente dentro del horno para conseguir un aumento uniforme mientras el material avanza en el interior del horno.
- Zona 2 o de calentamiento, es donde la temperatura aumenta levemente, contrario a la zona de precalentamiento, la temperatura aumenta hasta alcanzar a la temperatura de secado en un tiempo mayor que la zona 1.

- Zona 3 o de secado, es donde la temperatura es constante y es donde se mantiene el material el tiempo necesario para el secado.
- Zona de enfriamiento, ésta se encuentra a la salida del horno donde el material se enfría cerca de la temperatura ambiente y donde sale el producto totalmente secado

1.2.2. Tiempos de secado

En un horno del tipo convencional, en el que el secado de las tintas se realiza por la circulación de aire caliente en el interior del horno, que es producto de la quema de combustible el tiempo de secado no cambia, pues la velocidad de arrastre de las hojalatas es constante. El fabricante establece la temperatura a la cual se deben secar sus tintas en un horno de este tipo; pero, normalmente, el tiempo de secado o tiempo en que la hojalata se mantiene en la zona 3 es de aproximadamente de diez a doce minutos.

El proceso de secado tarda aproximadamente veinte minutos, esto es desde que ingresa la hojalata en la cabina del horno hasta que sale, por esta razón se puede observar que este es un proceso de secado bastante lento.

1.2.3. Tintas

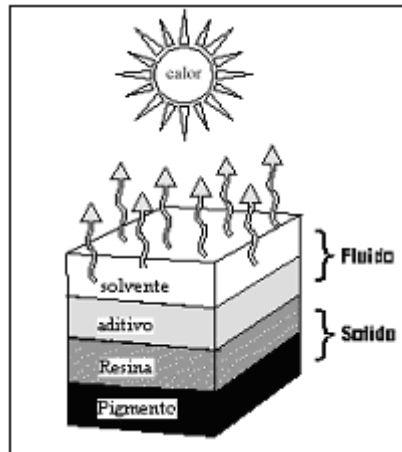
Todas las fórmulas de tintas para impresión llevan tres componentes básicos: un colorante, un vehículo para llevar el colorante y aditivos, como ceras y secantes. Los colorantes pueden ser tinturas, pero con mayor frecuencia están hechos sobre la base de pigmentos. Pueden ser en polvo (tóner seco), en dispersión concentrada, en pasta conocida como color en pasta, o en dispersión líquida. Los vehículos pueden ser aceites (de petróleo o vegetales), solventes, agua, o una combinación de ellos. La mayoría de los vehículos también contienen resinas, las que sirven para ligar el colorante a la superficie de impresión. Los aditivos pueden incluir ceras, secantes y otros materiales que

agreguen características específicas a la tinta o a la película de tinta seca. Juntos estos ingredientes definen las principales propiedades de la tinta: propiedades visuales, imprimibilidad y rendimiento en el uso final. La relación entre colorante o pigmento y aditivos o ceras constituyen propiedades, tales como: transparencia y brillo de las tintas.

El secado de la tinta convencional se puede obtener de las siguientes formas: absorción, oxidación y evaporación o polimerización. El secado por absorción es utilizado en materiales absorbentes, tales como: papeles o telas. En el secado por oxidación los aceites y substratos de la tinta se combinan con el oxígeno de la atmósfera para crear una capa de tinta sólida. El secado por evaporación o polimerización es el método utilizado cuando se tratan materiales no porosos como el caso de la hojalata. Dado que los substratos no porosos como los filmes plásticos y el vidrio no pueden absorber los vehículos de la tinta, se requiere en estos casos que la tinta seque mediante evaporación o polimerización (por ejemplo, curado por radiación).

En el caso anterior, los solventes del vehículo se evaporan y dejan las resinas y demás componentes para que ligen los pigmentos al substrato, en la figura 3 se observa un componente de la tinta convencional. La evaporación de la tinta debe tener la rapidez necesaria para permitir un secado total, pero no tanta que provoque inestabilidad cuando las tintas todavía están en la prensa.

Figura 3. **Componentes de tinta convencional**



Fuente: Introducción a las pinturas industriales
www.construsur.net. 20 de marzo de 2006.

1.3. Litografía en horno UV

El horno de luz ultravioleta se emplea para varias aplicaciones, tales como: secado de tintas en distintos materiales o esterilización de productos. Para el caso de curado de tintas, para procesos litográficos, el horno de luz ultravioleta realiza el curado (secado) de tintas por medio de la exposición directa a la radiación UV, que emiten lámparas especialmente diseñadas para ese propósito.

La radiación ultravioleta es emitida directamente por lámparas UV, pero también se puede obtener una radiación ultravioleta directamente de los rayos del sol, entonces ¿Por qué no utilizar directamente los rayos del sol para curar las tintas litográficas? La respuesta es: no se puede controlar como se desea la potencia de dicha fuente natural para el uso en las aplicaciones que se desean y está sujeto a situaciones de iluminación solar pobre u oscuridad en las que no podríamos extraer radiación ultravioleta. Además, en la radiación solar, la radiación UV-B y UV-C (véase generalidades del espectro

electromagnético, página 17) son absorbidas antes de llegar a la superficie, y la UV-A llega muy atenuada para usarla en la industria. Además, en determinadas aplicaciones se necesitara cierta colimación de la radiación, o también la concentración en un tiempo pequeño de toda la radiación. Es obvia la necesidad de las fuentes artificiales.

Entre las principales ventajas de un curado de tintas por radiación ultravioleta, se puede mencionar: el tamaño de la cabina del horno UV es menor en cuanto a área y volumen, éste es aproximadamente 90 veces menor que la cabina de un horno convencional. Eléctricamente un horno de luz ultravioleta consume menos energía, esto debido a que no utilizan tantos motores eléctricos para generar aire forzado por ser la cabina del horno pequeña en comparación con la del horno convencional. El brillo que se obtiene cuando la tinta es curada por un horno de UV es mejor que el de un horno convencional.

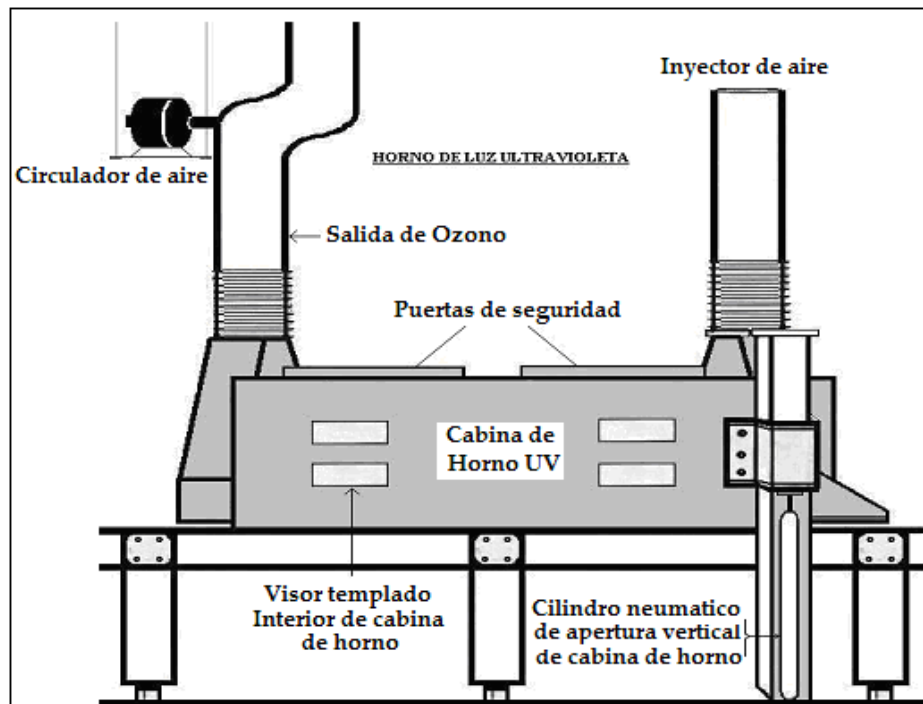
La razón más importante de la utilización de un horno a base de luz ultravioleta es el tiempo de curado, en un horno UV el proceso total de curado tarda aproximadamente de uno a dos segundos, recordemos que el mismo proceso tarda alrededor de media hora en un horno del tipo convencional.

El tamaño de la cabina de un horno UV dependerá del número de lámparas ultravioletas que estén alojadas en su interior. La cantidad de lámparas depende del nivel de radiación que sea necesario emitir o del nivel de potencia necesario para un curado en específico. Por lo anteriormente descrito, se puede encontrar en la industria hornos ultravioleta con dos lámparas, con cuatro, con siete y hasta más lámparas UV. Para este estudio, el horno UV para curado de tintas litográficas está compuesto de siete lámparas.

El horno ultravioleta de siete lámparas es una cabina de 2.1 metros de largo una altura de 80 centímetros y un ancho de 60 centímetros como el que se observa en la

figura 4, su funcionamiento en específico es el curado de barnices aunque también se le puede utilizar para curado de tintas. El proceso completo de curado se realiza instantáneamente y es el siguiente: la hojalata con el barniz fresco sale de los rodillos barnizadores, e ingresa directamente a la cabina del horno UV por medio de fajas transportadoras, la radiación que emiten las lámparas UV es dirigida directamente al objeto por medio de reflectores, los reflectores son diseñados de una forma elíptica para transmitir toda la concentración de radiación UV a un único punto en específico de la hojalata por un breve período de tiempo.

Figura 4. **Dibujo de horno de lámparas ultravioleta**



Fuente: elaboración propia.

Por ser el barniz UV más viscoso que uno convencional, se necesita más tiempo entre la impresión y el horno de curado para que el barniz pueda alisarse correctamente

sobre la hojalata. Mientras más tiempo tenga, más lisa será la capa y por ende más brillo tendrá el trabajo, la única manera de aumentar este tiempo, sin sacrificar la productividad, es aumentar la distancia entre el momento de impresión y el curado, de ahí que en una máquina litográfica UV. La prensa barnizadora se encuentre a una distancia de varios metros del horno de curado.

Del tiempo de curado y del volumen de la cabina, se puede observar la enorme ventaja que posee un horno de curado UV con respecto a un horno de secado de tintas convencional que es a partir de la quema de combustible.

1.3.1. Zonas de curado

El horno litográfico UV, por tener un proceso de curado de tintas instantáneo, que es alrededor de 1 a 2 segundos de exposición a la radiación ultravioleta, no posee zonas de curado como lo posee un horno del tipo convencional, la velocidad de curado depende de la relación química de las tintas ultravioleta con la dosis o nivel de radiación UV. A diferencia de un horno convencional, en el cual el secado de las tintas se realiza por medio de la absorción o evaporación del solvente, en un horno ultravioleta en el curado de la tinta todos los componentes de la misma permanecen en la superficie del sustrato pero son polimerizados hasta formar una película dura.

Al estar expuestas las tintas UV a la radiación ultravioleta, la reacción química (véase tintas UV) de curado se inicia instantáneamente, lo cual implica que no se es necesaria una zona de precalentamiento del material como se realiza en un horno del tipo convencional, pues en un horno UV la energía radiante no debe provocar un aumento de la temperatura, es más, en un horno UV el aumento de la temperatura, a partir de la temperatura ambiente es considerada un gasto de energía o pérdida de energía. Por lo anterior, tampoco existe una zona de calentamiento y una zona de secado o curado y puede considerarse la longitud total de la cabina del horno.

1.3.2. Tiempo de curado

El curado de las tintas o barnices en un horno UV se realiza de forma instantánea, el proceso total, desde que entra la lámina con la tinta o barniz fresco hasta que sale del horno, toma alrededor de un segundo.

El proceso de curado es bastante rápido, debido a que el material a curar reacciona directamente con la radiación que emiten las lámparas UV y por ello, no es necesario que el horno contenga zonas de precalentamiento, calentamiento o de enfriamiento como en un horno convencional, lo que optimiza el tiempo de curado.

1.3.3. Tintas

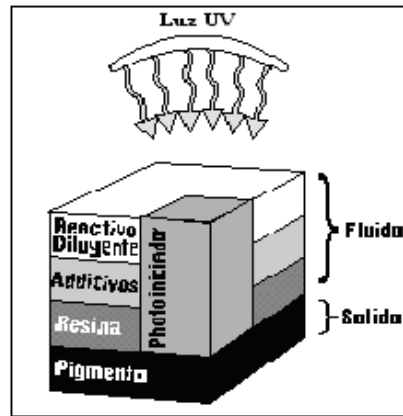
La tinta que se utiliza en un horno UV es importante en cuanto a su formulación porque de esto depende que exista un curado instantáneo al percibir la radiación UV.

Los componentes de una tinta curable por energía son: diluyentes reactivos (monómeros), resinas fluidas (oligómeros), fotoiniciadores, aditivos y pigmentos. Las funciones de cada uno de estos elementos químicos son las siguientes:

- Diluyentes reactivos (monómeros): un monómero diluyente activo es un elemento químico simple y liviano, similar a un solvente en su capacidad de aligerar la tinta. éstos determinan las características superficiales de las tintas, tales como el brillo, la dureza y la flexibilidad.
- Resinas (oligómeros): la resina de las tintas curables por energía se llama, de hecho, "oligómero". Al igual que en las tintas convencionales, la resina es el sostén químico de la tinta, proporciona, entre otras, sus propiedades de unión, su cuerpo y su humectabilidad.

- **Fotoiniciadores:** en las tintas curables por UV, es el elemento químico que se activa e inicia la reacción de curado cuando queda expuesto a la luz ultravioleta. El fotoiniciador activado tras pasa esa energía a otros componentes. En ese punto, todo componente que se active adopta la capacidad de atraer a otros componentes y transferirles energía.
- **Aditivos:** pueden ser parafinas, agentes humectantes y modificadores de la reología. Le otorgan a la tinta los toques adicionales que la personalizan.
- **Pigmentos:** la concentración y el tamaño de las partículas del pigmento pueden influir sobre el ritmo de curado de una tinta curable por UV. Por lo tanto, los pigmentos no sólo se eligen por su color, sino por su índice de dilución en aceite o humectabilidad y también por su receptividad a la luz UV. Entre los colores de policromía, el amarillo y el magenta son los más fáciles de curar, seguidos del cian y el negro, en la figura 5 se observa un componente de la tinta ultravioleta.

Figura 5. Componentes de tinta UV

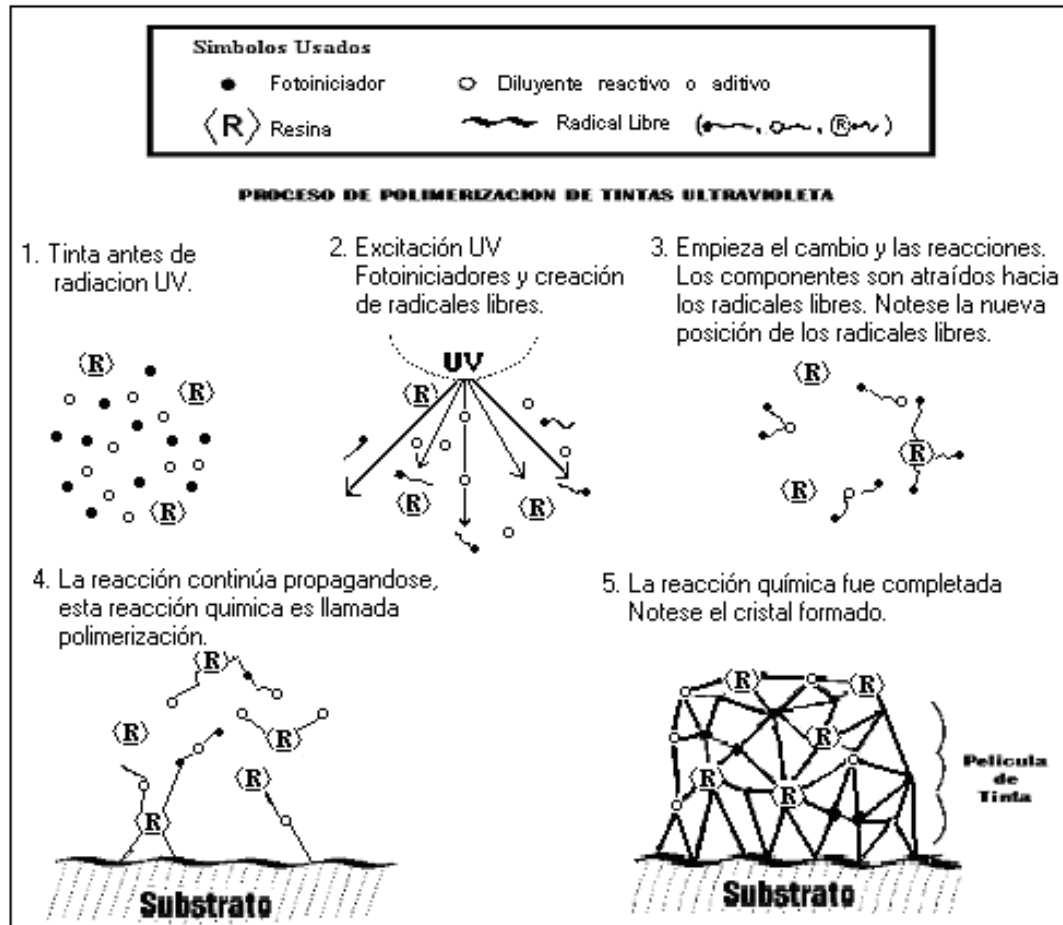


Fuente: Introducción a las pinturas industriales, www.construsur.net.
20 de junio de 2006.

La reacción química que produce el curado de las tintas litográficas UV se le conoce con el nombre de polimerización.

- Polimerización: a todo componente que se activa o energiza se lo denomina radical libre. Los radicales libres son quienes tienen la energía para hacer funcionar la reacción en cadena del curado o la polimerización. Cada cadena química continúa creciendo hasta que sucede una de estas dos cosas.
- Las cadenas activadas utilizan todos los componentes existentes.
- Alguna sustancia foránea, como el oxígeno, apaga o detiene la reacción.

Figura 6. Proceso de polimerización de tintas UV



Fuente: contaminación de la ponencia de tintas de secado UV. www.aepag.es.
15 de agosto de 2006.

En la figura 6 se observa el proceso de polimerización, el cual consiste en que al recibir la radiación ultravioleta de las lámparas, los fotoiniciadores de la tinta comienzan a crear radicales libres, que conectan las moléculas de las resinas y los monómeros en proceso de uniones cruzadas denominado polimerización. En este proceso, las resinas y los monómeros conectados atrapan a los pigmentos en esa malla formando la tinta curada o secada. Esta tinta se adhiere a la superficie de los materiales sin ser necesario

que estos sean porosos gracias a las resinas que se pueden emplear, ya que no es necesario que las resinas sean solubles en agua o solventes y por tanto estas son más “potentes” que las resinas convencionales.

Durante los últimos 15 años, las mejoras en la calidad de impresión, junto con las crecientes ventajas económicas y ambientales, han generado un mayor interés en las tintas y recubrimientos curables por energía. En la actualidad, el curado por UV se utiliza en casi todos los procesos de impresión, desde tipografía hasta flexografía, en casi todos los substratos, desde papel y cartón hasta papel de aluminio y film, tanto en aplicaciones de prensa plana como rotativa.

2. EL HORNO ULTRAVIOLETA

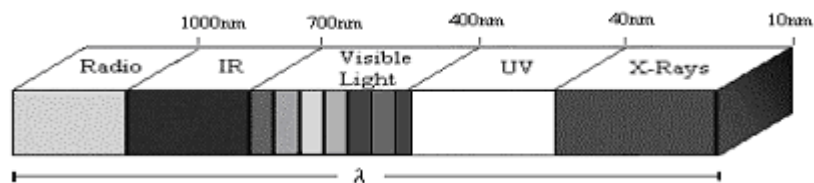
2.1. Generalidades del espectro electromagnético

El espectro electromagnético está conformado por ondas de radiación electromagnética producidos por la oscilación o aceleración de cargas eléctricas. La radiación electromagnética está dividida por ondas de longitudes de frecuencias muy altas hasta frecuencias muy bajas conocidas como regiones del espectro electromagnético. Debido a que no existe un límite exacto para definir cuando comienza o termina una región, estas normalmente se consideran de la siguiente forma:

- Ondas de radiofrecuencia: 1000 nm de longitud de onda en adelante y está compuesto por ondas de radio y microondas, que son generadas por dispositivos electrónicos.
- Ondas infrarrojas: algunas veces llamadas ondas térmicas, esta región está compuesta entre el rango de 1000 a 700 nm de longitud de onda.
- Ondas visibles: comprendidas en el rango de 700 a 400 nm y son las únicas ondas del espectro electromagnético, las cuales se pueden percibir por el ojo humano.
- Ondas ultravioleta: comprendidas entre el rango de 400 a 40 nm de longitud de onda, este tipo de onda tiene como fuente principal el sol.
- Rayos X: su rango es de 40 a 10 nm. La fuente más común de rayos X, es la desaceleración de electrones de alta energía al bombardear un blanco metálico.

- Rayos Gamma: comprendido a partir de todas las longitudes de onda menores a 10nm. Tienen un alto poder de penetración y producen daños muy serios cuando son absorbidos por el tejido vivo. En consecuencia, toda persona que trabaja cerca de radiación peligrosa debe protegerse con materiales absorbentes de gran peso, como gruesas capas de plomo.

Figura 7. **Espectro electromagnético**



Fuente. Información de la luz ultravioleta. www.lenntech.es.
20 de noviembre de 2006.

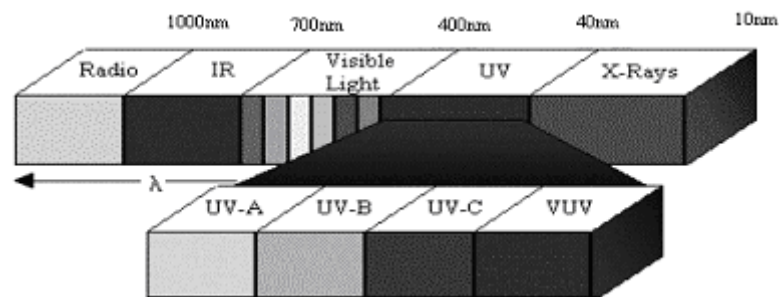
En la figura 7 se observa el espectro electromagnético, las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad $c = 299.792 \text{ km./s}$. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia. Las longitudes de onda van desde billonésimas de metro hasta muchos kilómetros. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda \cdot f = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

2.1.1. El espectro ultravioleta

El rango de longitudes de onda que abarca la luz ultravioleta en el espectro electromagnético es aproximadamente de 40 a 400 nm.

Como se observa en la figura 8, el rango ultravioleta, a su vez, está dividido en cuatro regiones llamadas: UV-A, UV-B, UV-C y VUV.

Figura 8. Espectro ultravioleta



Fuente: información de la luz ultravioleta. www.lenntech.es.
20 de noviembre de 2006

- El rango VUV comúnmente referido a longitudes de onda corta ultravioleta se encuentra entre los 100 a 200 nm y normalmente es llamado “vacuum UV”, debido a que no se transmite en el aire. Este tipo de onda corta de UV es utilizado para curar la superficie superior de los materiales y es creado únicamente, por una fuente de luz ultravioleta como el caso de lámparas UV.
- El rango UV-C comprende un rango o ancho de banda de 200 a 280 nm de longitud de onda, su fuente principal de generación es el sol. También se logra emitir longitudes de onda entre este rango por medio de lámparas ultravioleta de baja presión, su utilización principal es: en tratamientos superficiales como fotomecánica,

para quemado de placas o negativos; en fotomedicina, para tratamientos de la piel; también, es utilizado para preparación de materiales sintéticos.

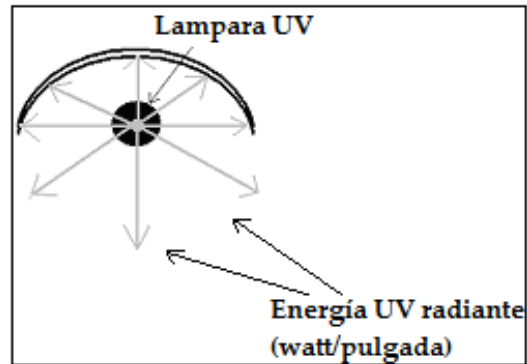
- El rango UV-B está comprendido entre 280 a 315 nm de longitud de onda, su fuente principal es el sol, pero puede ser creada por medio de lámparas de mercurio de media presión; su utilización principal es para curado de la superficie inferior de los materiales, como tintas o substratos, puesto que este tipo de onda larga tiene la característica de penetrar en las profundidades del material.
- El rango UV-A está comprendido entre 315 a 400 nm de longitud de onda, éstas son emitidas por el sol, pero también pueden ser emitidas por lámparas de mercurio de baja presión utilizadas para excitación de fluorescencia; se usan principalmente para detección, inspección y esterilización de productos o para fines decorativos con potencias bajas de alrededor de 4 y 36W.

Como se puede ver en los cuatro rangos anteriores del espectro ultravioleta, para un curado de tintas necesitamos una fuente de radiación, que se encuentre entre el ancho de banda VUV y UV-B.

2.1.2. Medición de la intensidad ultravioleta

La intensidad UV se mide por el nivel de energía radiante total que emite la fuente de UV en todas las direcciones, ésta es expresada en Watt o julios/segundo sobre la longitud de la fuente.

Figura 9. Dirección de la intensidad UV



Fuente: elaboración propia.

Watt = Dimensional de potencia, igual al trabajo realizado por una fuente de 1 Newton a lo largo de un metro.

Joule = Dimensional de trabajo o energía.

En la figura 9 se observa la cantidad de energía ultravioleta emitida en todas las direcciones de la fuente, esta energía únicamente puede ser medida ya sea por la energía operativa en “watts por pulgada” o “watts por centímetro”. Esta medida se deriva simplemente desde el ingreso de energía eléctrica dividida por la longitud efectiva de la bombilla o lámpara, (no tiene significado directo a la cantidad de energía UV entregada a una superficie de curado).

$$\text{Intensidad UV} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Longitud}} = \frac{\text{Watt}}{\text{Pulgada}}$$

- Dosis: la cantidad de energía UV necesaria para el curado de materiales o entregada a una superficie de trabajo se conoce como dosis ultravioleta y este es el producto de la intensidad UV expresado únicamente como energía, por unidad de área.

$$\text{Dosis} = \frac{I_{uv}}{A}$$

Lo anterior es comúnmente expresado como: mWatt/segundo /cm²

- Densidad de energía efectiva o irradiación UV: cuando la dosis de energía UV es especificada para un único rango de longitud de onda, esta energía entregada a la superficie de trabajo, se llama densidad de energía efectiva o también, se conoce como irradiación UV y es expresado como potencia o cantidad de energía en joules por segundo que llega una superficie cuadrada (Potencia = Joule/segundo), por lo tanto:

$$\text{Irradiación o densidad UV} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$

Lo anterior es expresado normalmente como: mWatt/cm²

De lo escrito, se puede observar que dosis UV y densidad de energía efectiva o irradiación UV son prácticamente los mismos conceptos, la diferencia entre el primero y los segundos radica en la especificación de un rango único de longitudes de onda del espectro electromagnético UV, esto se hace importante, pues como se observó en el capítulo anterior, distintos rangos de longitudes de onda en el espectro ultravioleta son necesarios para distintos fines y cada uno de ellos se puede medir con distintos valores de irradiación UV.

- Radiómetro: para la medición de la dosis o la irradiación UV se utiliza un equipo destinado para este fin conocido como radiómetro y que su objetivo es medir la capacidad de energía UV que emana de la fuente, la cabeza de medición está compuesta de un sensor con filtro óptico concentrado alrededor de un único rango de longitud de onda (irradiación), cuando la energía ultravioleta es detectada por el sensor del radiómetro, el filtro análogo compuesto por un amplificador operacional, rechaza todas las longitudes de onda y deja pasar únicamente el rango especificado de longitudes de onda, esta señal es guiada a un microprocesador compuesto de varios comparadores que reciben la señal de entrada y la comparan con su señal de referencia y emiten su respuesta a un display para una fácil lectura de la radiación emitida.

Por lo tanto, la medición de energía ultravioleta emitida por una fuente de luz ultravioleta puede hacerse fácilmente colocando directamente el radiómetro a la exposición de la luz UV y ésta puede ser medida en: mJ/cm^2 , J/cm^2 , mW/cm^2 o W/cm^2 .

2.2. Curado en horno UV

El curado o secado de tintas por medio de luz ultravioleta, se realiza por la exposición directa de las tintas a la radiación UV, el proceso químico llamado polimerización origina un secado instantáneo.

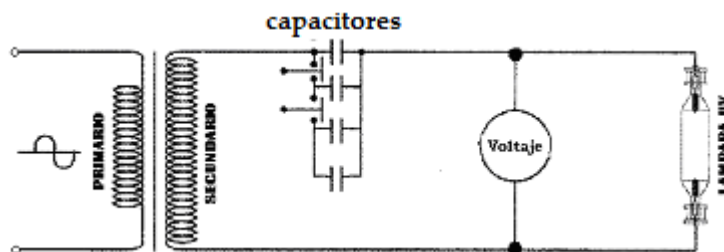
La radiación UV expuesta directamente al cuerpo humano origina una evaporación del agua del área que recibe los rayos UV, lo que produce quemaduras severas o el origen de cáncer en el área afectada, por esta razón la cabina del horno ha sido diseñado para controlar los posibles peligros a la salud del operador.

El tamaño del horno UV dependerá del nivel de radiación que sea necesario emitir para curar un determinado barniz o tinta, el nivel de radiación para los tipos de barnices o tintas los brinda el fabricante.

2.2.1. Funcionamiento del horno UV

Generalmente, un horno UV lleva de 4 a 7 lámparas UV, todas independientes una de la otra para generar un nivel de radiación adecuado. Estas lámparas son excitadas por un potencial alto de aproximadamente 1500 a 1600 volts y sus niveles de radiación pueden ser cambiados variando la reactancia capacitiva que se encuentra en serie con la lámpara, como se puede observar en la figura 10.

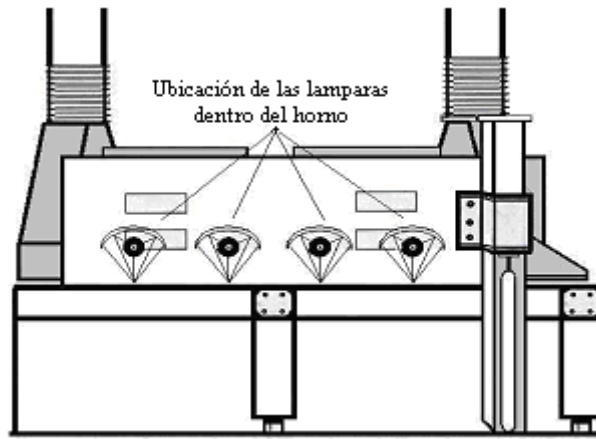
Figura 10. **Diagrama eléctrico de reactores en serie para control de nivel de radiación**



Fuente: elaboración propia.

Las lámparas se encuentran espaciadas de tal forma que brinden una radiación enfocadas o centradas en un solo punto del objeto a curar. Cortinas o obturadores que son protecciones metálicas, que encierran completamente a la lámpara se cierran y abren dependiendo de sí son requeridos o no las lámparas UV en conjunto, con una disminución en el nivel de radiación, para evitar que la cortina o obturador y la lámpara se sobrecalienten, cuando ésta se encuentre cerrada.

Figura 11. **Distribución de lámparas ultravioleta en la cabina del horno**



Fuente: elaboración propia.

Las cortinas de las lámparas ofrecen también seguridad al sistema de fajas de la mesa de transporte para que éstas no se quemen, cuando las fajas no estén en movimiento y la posición de las lámparas es tal como se muestra en la figura 11.

El sistema de fajas en movimiento es el que guía al objeto a curarse a través del horno UV, el cual atraviesa la radiación que emite cada una de las lámparas; proceso que dura alrededor de 1 a 2 segundos dependiendo del tamaño del horno.

La seguridad de un horno UV implica eliminar todos los riesgos contra el operador y la máquina, por lo cual el horno UV está equipado con diversos sistemas de protección y de funcionamiento, para evitar cualquier riesgo en la operación de curado. Entre los sistemas de protección y operación tenemos los sistemas de enfriamiento, los sistemas neumáticos, sistemas mecánicos y sistemas eléctricos.

2.2.1.1. Sistemas de enfriamiento (*Chillers*)

Este sistema es usado como medio de disipación de calor para protección de la lámpara UV y del reflector que se encuentra ubicado en la parte superior de la lámpara UV.

Un sistema de Chiller está compuesto por una trayectoria cerrada de agua fría destilada, la circulación del agua fría se consigue por presión y gravedad, la circulación forzada o a presión es más eficaz, ya que permite mayor control y flexibilidad. En el sistema forzado el agua caliente se envía a los radiadores por una tubería de suministro, el agua caliente llega al radiador a la misma temperatura; el agua de todos los radiadores se recoge con una tubería común que es guiada al lugar donde se necesite regular la temperatura. Este sistema es más eficaz y más fácil de controlar. Este sistema requiere un tanque de expansión para compensar las variaciones de la cantidad de agua.

En otra forma de decirlo, el agua caliente o a temperatura ambiente se enfría y se hace circular por la parte superior donde se encuentra el reflector, ya que de no hacerse de esta forma podría deformarse debido al intenso calor que genera la lámpara UV, esta misma agua retorna al tanque de expansión y se vuelve a enfriar para continuar nuevamente con el ciclo de enfriamiento.

2.2.1.2. Sistemas neumáticos

Sistema utilizado para movimiento vertical de la cabina del horno y movimiento de cortinas de las lámparas. La cabina del horno donde se encuentran alojadas las lámparas UV pueden levantarse totalmente a una altura aproximada de metro y medio de la superficie donde se encuentran las fajas que transportan el material a curarse. Para producir este movimiento, se utiliza un pistón neumático controlado por una

electroválvula; ésta abre y cierra el paso de aire comprimido para el movimiento del pistón, que se encuentra colocado de una forma vertical.

Pistones ubicados lateralmente en el interior de la cabina del horno y siempre con el mismo funcionamiento del anterior por medio de un mecanismo, provocan el cierre o apertura de cortinas. Las cortinas son canales metálicos que cubren por completo a la lámpara UV cuando éstas no son requeridas por breves períodos de tiempo.

La finalidad de subir o bajar la cabina del horno es si, por algún motivo, alguna lámina se trabe dentro de la cabina pueda sacarse fácilmente sin necesidad de desarmar el equipo mecánico, también se hace necesario subir la cabina del horno para algún mantenimiento directo a las lámparas.

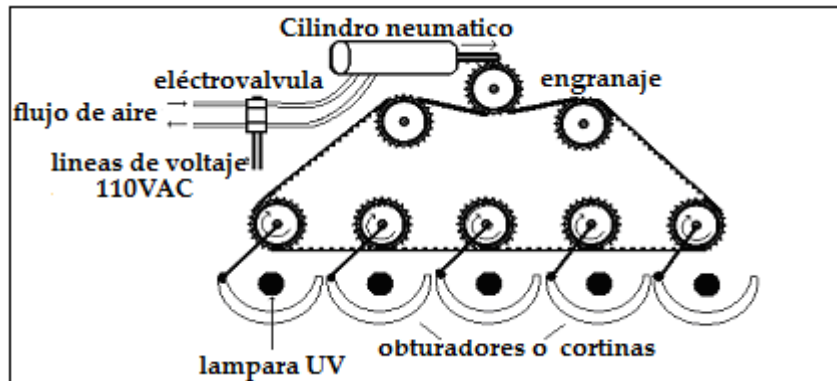
2.2.1.3. Sistemas mecánicos

El sistema mecánico en la cabina del horno UV es utilizado para el movimiento del cierre y apertura de las cortinas de cada lámpara UV.

Las cortinas son canales metálicos que cubren totalmente a la lámpara UV, cuando no son requeridas por breves períodos de tiempo. Esto, para no dañar las fajas de la mesa de transporte.

El sistema mecánico está ligado al movimiento de las cortinas por medio del movimiento neumático de pistones como se ve en la figura 12, los pistones están unidos por medio de sprockets y cadenas a la estructura de la cabina del horno para la apertura y cierre de las mismas.

Figura 12. **Movimiento mecánico para apertura e obturadores o cortinas**



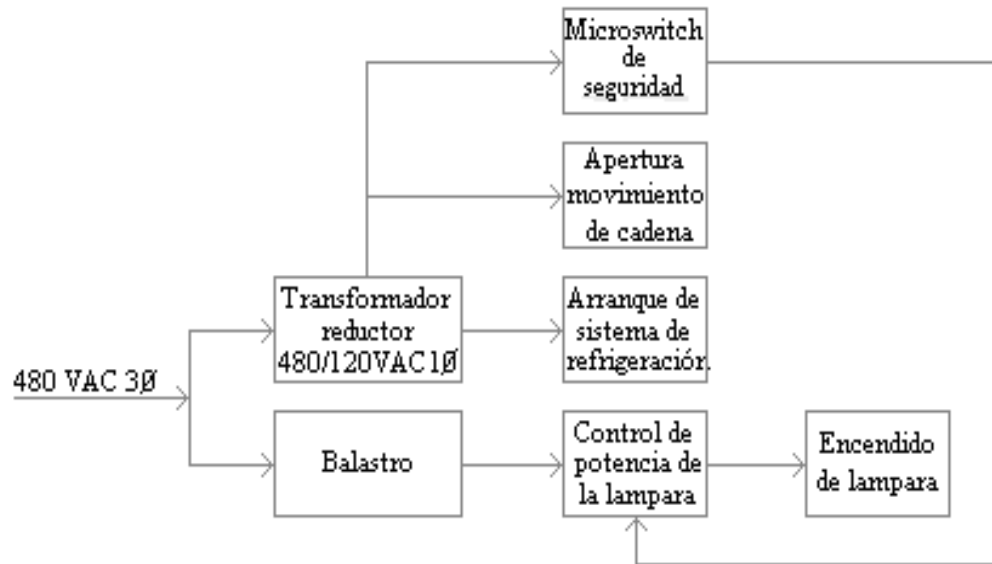
Fuente: elaboración propia.

2.2.1.4. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico es el sistema fundamental para un horno UV. Independientemente del encendido de las lámparas, en la cabina del horno UV el sistema eléctrico es el encargado de hacer circular aire en el interior del horno por medio de un sistema de motores, que tienen por objetivo el de disipar el calor y extraer el ozono, que es emanado al curar con UV.

El sistema eléctrico por medio de contactores y electroválvulas controla el paso de aire comprimido para los pistones neumáticos que suben y bajan la cabina del horno o que abren y cierran las cortinas de las lámparas UV.

Figura 13. Esquema de sistema eléctrico del horno UV



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se ve el esquema del sistema eléctrico del horno y que están diseñados para apagar las lámparas cuando la cabina del horno se encuentre levantada, esto como medida de seguridad para el operador, pues si la cabina del horno se encuentra levantada y las lámparas se encuentran encendidas podría ocurrir una tragedia; microswitchs de seguridad convenientemente ubicados aseguran que lo anteriormente descrito no suceda, desconectando todo el sistema eléctrico de la cabina del horno y apagando automáticamente las lámparas UV.

2.2.2. Lámparas UV

La producción artificial de UV se viene haciendo desde 1930, año en el que Holpfield descubrió la emisión de espectro continuo del helio desde 60 a 100nm. Sus experimentos abrieron las puertas a la tecnología de generación de radiación ultravioleta

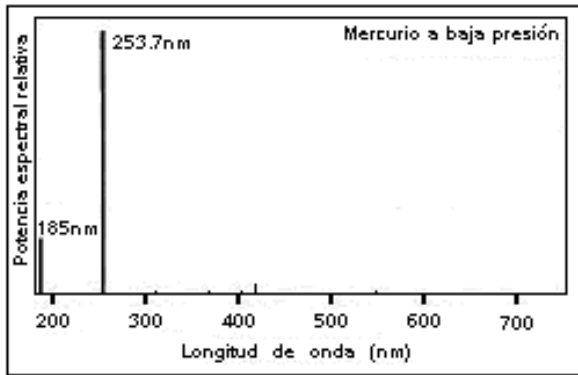
o RUV. Esto es la electroluminiscencia, fenómeno en el que se basan todas las lámparas eléctricas de descarga UV. La generación de RUV en una lámpara de descarga se fundamenta en la agitación de un gas o vapor metálico por el efecto de un arco eléctrico producido en su interior.

Al no ser el gas utilizado un conductor o al estar sus átomos separados (en el caso de los vapores metálicos), los electrones no fluyen libremente, sino que se produce un arco eléctrico (flujo de corriente eléctrica) cuando la tensión aplicada al gas o vapor metálico sobrepasa un umbral que se llama Tensión de Ruptura, que depende de: el tipo de gas, de su presión, de la superficie transversal y del espesor entre los electrodos. El arco eléctrico produce como resultado la emisión electromagnética, producto de la excitación que crea la descarga eléctrica sobre el gas.

Los factores de los que depende la elección de un tipo u otro de una fuente UV son la irradiancia (W/m^2) y la dosis (J/m^2). La eficacia o rendimiento que da la estimación del porcentaje de corriente eléctrica que finalmente, se convierte en el exterior de la lámpara en emisiones UV.

La lámpara ultravioleta puede ser fabricada de forma tal, que ofrezca un único nivel de radiación entre cualquier ancho de banda o región del espectro electromagnético UV, como lo son el UVA, UVB, UVC o VUV. También, puede ser creada una lámpara que ofrezca niveles de radiación entre dos rangos del espectro electromagnético, como lo son el VUV y el UVB, que son del tipo de lámparas UV utilizados en el curado de las tintas litográficas. La fabricación de lámparas UV en un rango específico del espectro UV se basa en la emisión espectral multilíneal, característica que tienen ciertos elementos, como lo son: el mercurio, xenón, galio o haluros metálicos, cuando son tratados a diferentes tipos de presiones, por ejemplo, el mercurio.

Figura 14. **Gráfica de longitud de onda del mercurio a baja presión**

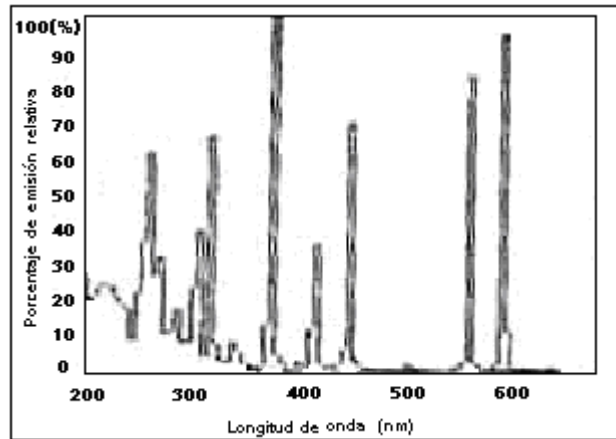


Fuente: Comparación entre lámparas UV de baja presión versus lámparas de media presión.
www.bibliolight.cl. 20 de enero de 2007.

En la figura 14 se puede observar que el mercurio a una presión baja, ofrece un máximo de potencia de radiación en una longitud de onda de 253.7nm, lo cual establece una radiación ultravioleta en el rango de UV-C.

Cuando el mercurio es tratado a una presión mayor, su nivel de radiación espectral cambia y su máximo nivel de potencia de radiación cambia a valores distintos de longitud de onda como se ve en la siguiente figura:

Figura 15. **Gráfica de espectro de mercurio de media presión**

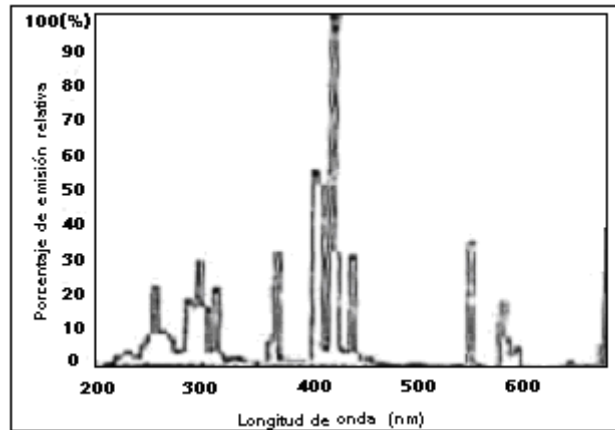


Fuente: Comparación entre lámparas UV de baja presión versus lámparas de media presión.
www.bibliolight.cl. 20 de enero de 2007.

En la figura anterior, se puede observar que el mercurio cuando es sometido a una presión mayor ofrece un máximo de nivel de radiación espectral en 365nm y 690 aproximadamente, por lo tanto, ahora se tiene una lámpara que emite radiación ultravioleta del tipo UV-A y también emite una luz que es visible al ojo humano.

Cuando el mercurio es sometido a la misma presión anterior (media presión) y es dopado con impurezas como haluros metálicos, se ofrece entonces un nivel de radiación espectral como el de la figura 16.

Figura 16. **Gráfica de espectro de mercurio de media presión con haluros Metálicos**



Fuente: Comparación entre lámparas UV de baja presión.
www.bibliolight.cl. 20 de enero de 2007.

En la figura anterior, se puede observar que ahora el mercurio a una presión media ofrece mayor luz visible con una potencia del cincuenta por ciento de radiación UV-A. El dopado de las lámparas de mercurio posibilita variar las áreas de emisión principales y adaptarlas mejor a varias aplicaciones.

La fuente a utilizar dependerá de las necesidades de la aplicación. Se debe tener en cuenta, entre otros factores (como por ejemplo, la longitud de onda o el ancho de banda en el que deseamos trabajar), la intensidad local de radiación, que depende de:

- La potencia instalada en las fuentes.
- La distancia entre la lámpara y el punto considerado.
- La absorción de la camisa de cuarzo que envuelve a la fuente.

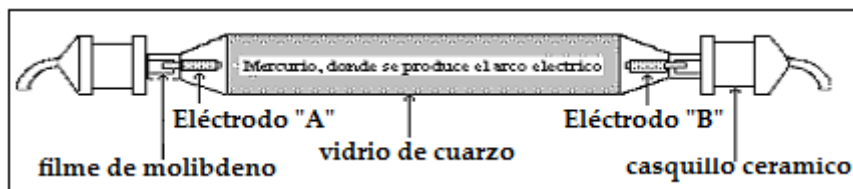
- El envejecimiento de la fuente.

El material que se utiliza influye sobre las propiedades de la lámpara, tal como la estabilidad mecánica, tiempo de vida, calidad espectral y seguridad eléctrica.

El vidrio de cuarzo es el material preferido para hacer los tubos de descarga. Es un material que se caracteriza por su dureza y estabilidad térmica (resiste hasta 1100 °C y posee un muy bajo coeficiente de dilatación), tiene una muy buena transmitancia en UV (hasta 180 nm para cuarzo normal y 160 nm para cuarzo sintético). Por otro lado, puede doparse con varios aditivos que le permiten cortes por absorción. Para construir los electrodos de las lámparas de descarga que pueden alcanzar fácilmente los 2500 °C generalmente, se usa wolframio o tungsteno; aunque también, pueden ser construidos de materiales cerámicos.

Una parte sobre la que hay que poner especial cuidado en la fabricación de las lámparas es que resulta imposible soldar las varillas metálicas al cuarzo, como consecuencia del diferente coeficiente de dilatación térmica (el metal es aproximadamente 10 veces mayor que el cuarzo). Para lograr una soldadura adecuada que posibilite el vacío, debe utilizarse un fino filme de molibdeno, el cual debido a su elasticidad es capaz de compensar la deformación causada por el cambio de temperatura, en la figura 17 se puede observar la construcción de una lámpara de vapor de mercurio.

Figura 17. **Construcción de lámpara de mercurio de media presión**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.1. Tipos de lámparas UV

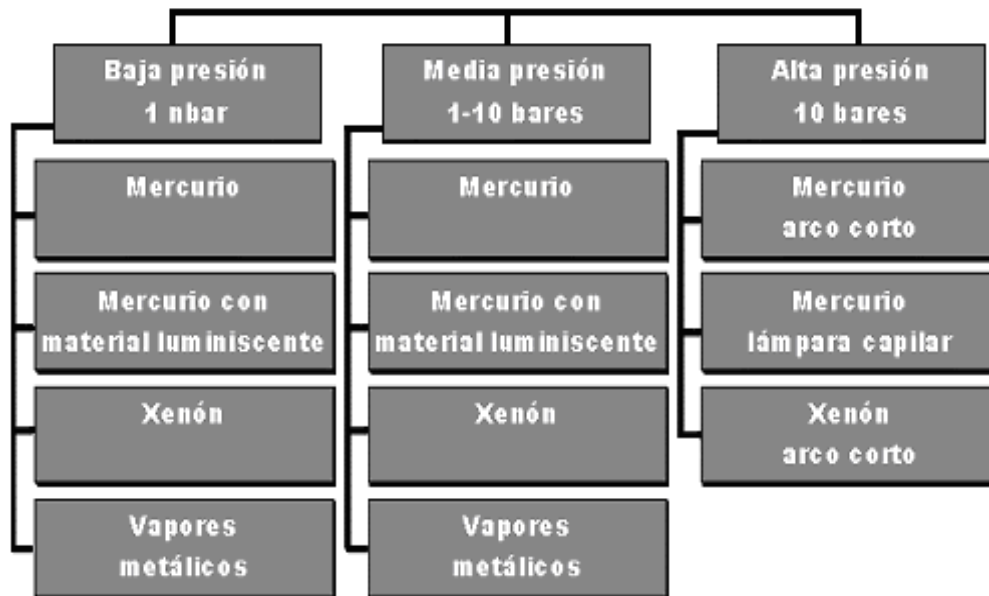
Entre las lámparas de emisión ultravioleta se tienen dos tipos las cuales son: a) lámparas de descarga de UV (policromáticas, con tecnología de descarga), y b) lámparas de excímeros UV (monocromáticas, con tecnología excímer).

- Lámparas de descarga UV: la generación de RUV en una lámpara de descarga se fundamenta en la agitación de un gas o vapor metálico por el efecto de un arco eléctrico producido en su interior. Para facilitar el encendido, las lámparas se rellenan de gases (xenón, criptón, argón) o vapores metálicos (como vapor de mercurio, yodo, mercurio con halogenuros metálicos añadidos).

Al no ser el gas utilizado un conductor o al estar sus átomos separados (en el caso de los vapores metálicos), los electrones no fluyen libremente, sino que se produce un arco eléctrico (flujo de corriente eléctrica) cuando la tensión aplicada al gas o vapor metálico sobrepasa un umbral que se llama Tensión de Ruptura, que depende del tipo de gas, de su presión, de la superficie transversal y del espesor entre los electrodos. El arco eléctrico produce como resultado la emisión electromagnética, producto de la excitación que crea la descarga eléctrica sobre el gas.

Durante el funcionamiento de una lámpara de descarga se produce una presión de vapor en su interior. De acuerdo con ello se pueden distinguir entre lámparas de baja presión, alta presión (media presión) y máxima presión (alta presión), aunque los límites no son rígidos. Los dos últimos nombres entre paréntesis corresponden a la nomenclatura anglosajona. En la figura 18 siguiente se puede ver la subdivisión.

Figura 18. **Gráfica de elementos necesarios para formar tipos diferentes de lámparas UV**



Fuente: folleto informativo, Grupo Zapata Guatemala, p.8.

- Lámparas de baja presión: éstas emiten a 254 nm con alto rendimiento (40 por 100 aproximadamente). Dependiendo de la transmitancia del material utilizado en el bulbo, la línea de radiación de onda de corta longitud de alrededor de 185 nm también puede emitirse.

- Las lámparas de mercurio de baja presión emiten principalmente en banda UV-C, con rayas espectrales en 185 y 253.7 nm. La presión de trabajo del vapor de mercurio es del orden de 0.4 Pa.
- Lámparas de media presión: en el caso de lámparas de mercurio de presión media también, contienen un gas noble para la ignición inicial y el mercurio debe alcanzar una presión de varios bares. La presión de vapor está determinada por la cantidad de mercurio introducida. La temperatura de pared del bulbo es suficientemente elevada como para que el mercurio vaporice totalmente. Las lámparas de media presión de mercurio emiten el espectro multilíneal, característico del mercurio, como los mostrados en las gráficas anteriores.
- En las lámparas de encendido de media presión, la emisión principal está en la región UV-B y UV-A, con líneas intensas en 313 y 365 nm, mientras que la línea de emisión de 253.7 nm queda casi completamente absorbida. Una proporción razonable de la radiación se emite también, en el intervalo visible, susceptible de aumentar, si se incrementa la presión de vapor de mercurio, que puede oscilar entre 10 y 1000 Kpa.
- Lámparas de alta presión: desarrollan una potencia unitaria más importante que la de baja, por ejemplo, de 125 W para UV-C, con un consumo eléctrico de 15 W·h/cm de longitud de lámpara, pero con un rendimiento inferior al 10-15 por 100. Funciona a una temperatura superior a 500°C. Emite a diferentes longitudes de onda y su duración de vida es más corta (3,000 a 6,000 horas). Necesita refrigeración.
- La lámpara de media-alta presión es; sin embargo, menos voluminosa que la de baja presión, lo que permite reducir el costo de los aparatos.

- Lámparas de excímeros UV: en el campo de la óptica el láser es el instrumento primario empleado para producir luz monocromática. Sin embargo, cuando se quiere producir luz monocromática UV el láser excímero se ha revelado como una herramienta compleja. En un láser excímero, las moléculas de un gas específico o de una mezcla de gases, que no están enlazados en sus estados iniciales, se excitan durante la descarga gaseosa y por tanto se combinan formando pares (dímeros excitados, de donde viene el nombre "excimer"). Estas combinaciones solamente ocurren bajo condiciones extremas y tienen muy corta vida. Cuando vuelven al estado inicial, estas moléculas disipan la energía absorbida en forma de cuantos de luz UV. La longitud de onda de la RUV disipada depende de la selección del gas (o mezcla de gases) y, por tanto, puede predecirse. La teoría que se aplica al láser es aplicable a la lámpara de excímero UV para producir radiación UV altamente monocromática e intensa.
- Las lámparas UV convencionales con su relativamente ancho espectro seguirán utilizándose en el futuro en aquellas aplicaciones en las que sea absolutamente necesaria una radiación perfectamente monocromática, ya que son medios fáciles y económicos. Sin embargo, las nuevas lámparas de excímero UV son una fuente de innovación en mercados y estrategias en los que se exige aprovechar las ventajas físicas y químicas de esta RUV (perfectamente definida), tal como sucede en los compuestos, que producen contaminación medioambiental (oxidación UV), endurecimiento de placas, pinturas y adhesivos, tratamientos superficiales (por ejemplo, para la preparación de materiales sintéticos) y/o ataque superficial, reacciones fotoquímicas (foto cloración, fotosulfocloración, etc.) en fotomedicina (tratamientos de la piel, etc.).

2.2.2.2. Tiempo de vida

Como todas las lámparas de descarga de gas, las lámparas UV envejecen, la intensidad disminuye a causa de la evaporación y de la deposición de materia de los electrodos sobre la superficie interna del tubo de cuarzo.

Esta duración de vida varía según los ciclos de utilización (marcha discontinua): se considera que cada nueva iluminación corresponde a una reducción de duración de dos horas. Existen lámparas especiales, llamadas "multiciclos", que pueden soportar 100000 ciclos sin cesar de funcionar correctamente. La utilización de estas lámparas reduce el consumo de energía porque permiten poner bajo tensión sólo el número de lámparas necesario en el instante (por ejemplo, en desinfección de aguas, cuando varía el caudal o la calidad del agua a tratar).

Una de las características importantes que se espera de las fuentes UV es una aceptable duración para el uso. El período de vida de las lámparas de descarga se encuentra entre varios cientos y varios miles de horas de uso. Generalmente, el final de su período de vida está caracterizado por no reunir los requisitos mínimos de uso. Esto suele ser en el caso de no alcanzar la intensidad mínima o cuando la estabilidad, no cae dentro de las tolerancias prescritas. También, pueden ser razones de seguridad las que limitan el período de vida a cierto número de horas, ya que pueden producirse fallos mecánicos, por ejemplo: estallidos de lámpara.

En algunos casos otros factores pueden determinar el tiempo de vida. Éste puede estar determinado por el recubrimiento del lado interior del tubo de descarga. Debido a las elevadas temperaturas de los electrodos y al impacto de los iones positivos, puede ocurrir la vaporización del material de los electrodos y entonces se solidifica en la pared del bulbo, así la radiación emitida, desde el plasma durante el funcionamiento, es progresivamente absorbida. Esto, origina que el recubrimiento de la pared absorba las

cortas longitudes de onda más que las largas, lo que se traduce en una deriva en el espectro de emisión.

Los electrodos siempre contienen sustancias activadoras, que ayudan a aumentar la emisividad de los electrodos y aseguran un encendido limpio. Si se alcanzan temperaturas muy altas en las paredes de la lámpara ($>900^{\circ}\text{C}$), ocurre en general, fenómenos de desvitrificación. El cuarzo amorfo cambia a un hábito cristalino, se hace poroso y la fuente de luz tiene escapes. La desvitrificación puede ser causada a bajas temperaturas por trazas alcalinas (por ejemplo huellas digitales al tocar la ampolla con la mano).

Un aspecto crítico es la hoja de sellado de la lámpara de descarga. Si entra oxígeno desde el exterior y alcanza la hoja de molibdeno ya a 300°C , se presentan fenómenos de oxidación. El óxido de molibdeno tiene mayor volumen. Esto puede reventar el sellado de la ampolla.

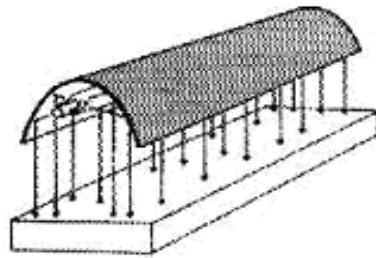
2.2.3. Reflectores

Las fuentes de radiación ultravioleta disponen normalmente de reflectores, cuya misión es aumentar la radiación sobre el producto a tratar. Sus formas varían considerablemente según las aplicaciones. No obstante, las más habituales son las parabólicas y elípticas. Aunque también, la forma y dimensiones de la fuente luminosa gobiernan las posibilidades de instalación, además las dimensiones del arco de descarga y su carácter deben, entre otros, considerarse para los sistemas ópticos (lentes, reflectores, etc.).

Los reflectores parabólicos son utilizados en procesos en los que las superficies a irradiar son estacionarias, porque producen un haz paralelo o divergente como por

ejemplo en procesos de quemado de placas en fotomecánica o esterilización de productos a bajas potencias, en la figura 19 se observa un reflector lineal.

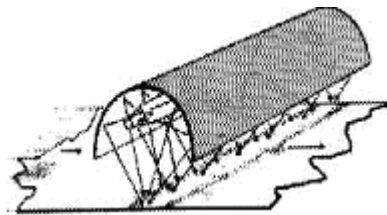
Figura 19. **Dibujo de reflector lineal parabólico de haz paralelo**



Fuente: elaboración propia.

Para los procesos en los que la superficie a irradiar se mueve con velocidad uniforme bajo la fuente UV, se utiliza una lámpara lineal, situada en el foco de un reflector de sección transversal elíptica. La superficie a tratar se mueve a través del otro foco de la elipse con lo que queda expuesto a una estrecha franja de elevada irradiancia. Esta disposición es muy frecuente en el secado y curado de recubrimientos en un proceso continuo como el curado de tintas litográficas. En la siguiente figura se observa un reflector lineal.

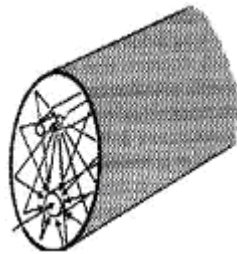
Figura 20. **Dibujo de reflector lineal elíptico para irradiar sobre una franja**



Fuente: elaboración propia.

Los recubrimientos de alambres o de fluidos que circulan por el interior de un tubo delgado de cuarzo pueden irradiarse por todas partes, situando la lámpara en un foco de un conducto elíptico con superficie interior reflectante y el material a irradiar en el otro foco.

Figura 21. **Dibujo de reflector elíptico**

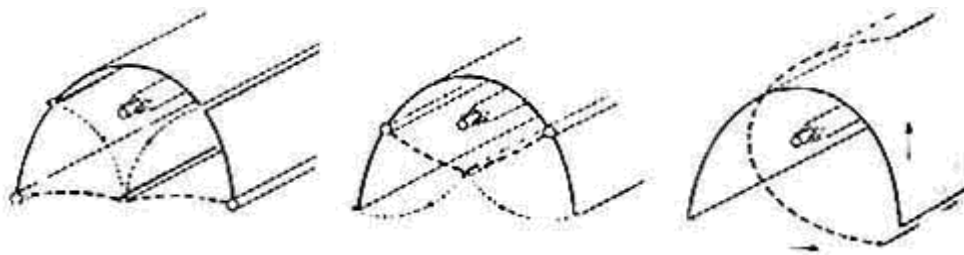


Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Obturadores o cortinas

Cuando alguno de los materiales a curarse se detiene inadvertidamente, frente a la fuente UV, se produce un rápido ascenso local de la temperatura del mismo, que puede llegar incluso a incendiarlo. Para evitar que esto suceda es posible reparar la instalación, para que los radiadores se desconecten automáticamente cuando el sistema de transporte se para. Ahora bien, esta solución presenta la desventaja de que la inercia térmica de los tubos puede todavía causar daños de consideración. La solución comúnmente empleada es un obturador o cortina, como también se les conoce, que automáticamente se cierra cuando el sistema de transporte se para. La operación de girar el reflector de modo que quede posicionado entre la lámpara y el material cumple el mismo objetivo. En cualquier caso, este obturador debe actuar cuando se abra la instalación, para evitar que el operario mire hacia la fuente UV de elevada intensidad.

Figura 22. **Dibujo de tipos de cortinas u obturadores**



Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se dispone habitualmente de una carcasa de protección con diferentes formas de apertura como el mostrado en la figura 22, para evitar que las radiaciones entren en contacto con las personas.

Las lámparas, debido a su configuración, trabajan a temperaturas elevadas, con lo que precisan de ventilación forzada de aire o en ocasiones refrigeradas por agua. Las únicas excepciones son los tipos de menor potencia (400 W y menores), en el supuesto que se las haya dotado del suficiente espacio para su ventilación natural.

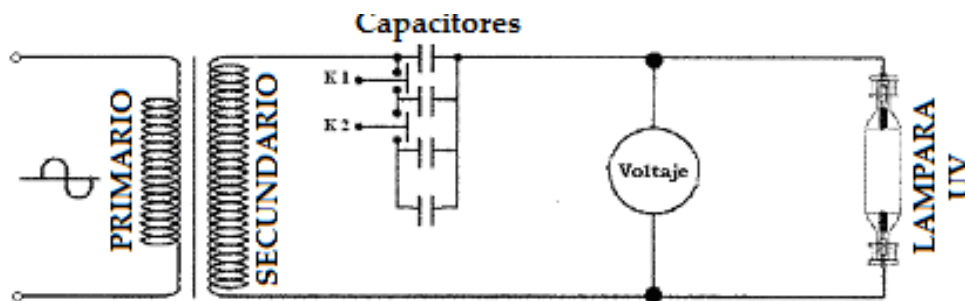
2.2.5. Niveles de radiación

En el diagrama eléctrico para el encendido de una lámpara U.V. se puede observar que existe un banco de capacitores en serie con la lámpara. Estos capacitores poseen dos funciones que son:

- Corrección del factor de potencia, debido a los balastos que originan el alto voltaje son puramente inductivos.
- Limitadores de corriente, esto porque en una lámpara de mercurio de descarga de media presión, en el instante en que el voltaje es sometido a los electrodos de la

lámpara, el circuito abierto que existe en el interior de la lámpara empieza a cerrarse debido al movimiento de las partículas del gas, entonces la resistencia interna empieza a disminuir y un corto circuito se crea en los terminales del secundario del balastro. Los capacitores entonces limitan la corriente debido a la reactancia capacitiva que estos presentan hacia la corriente alterna.

Figura 23. Diagrama eléctrico del circuito de potencia de una lámpara UV



Fuente: elaboración propia.

En la figura 23 se observa que el banco de capacitores corrige el factor de potencia; la reactancia capacitiva que estos producen, hacen que a medida que se agreguen más capacitores la corriente en la lámpara aumente, un aumento en la corriente de la lámpara hará que el nivel de radiación o energía emitida por la lámpara aumente, creando niveles distintos de radiación.

Normalmente, un horno UV ofrece para cada lámpara UV entre 2 y 3 niveles distintos de radiación. Para un horno UV con 3 niveles de radiación, para cada lámpara tenemos dos contactores o interruptores de potencia que cierran o abren para crear cada nivel de radiación. El nivel bajo de radiación se produce porque un juego de capacitores entra directamente creando una reactancia tal, que permita pasar una corriente de por ejemplo 3 A.

Para el nivel medio el contactor K1, se activa colocando un capacitor en paralelo al juego de capacitores que se encontraba inicialmente, esto provoca que la reactancia capacitiva disminuya su resistencia, dejando circular una corriente mayor, por ejemplo, de 6 A, creando una mayor radiación. Para el nivel alto, ocurre lo mismo que lo anterior, se cierra el contactor K2 colocando 2 capacitores más en paralelo, provocando que la reactancia disminuya aún más, dejando circular más corriente, por ejemplo: 10A, aumentando de esta forma la radiación. Nótese que el banco de capacitores forma una oposición al paso de la corriente alterna y la máxima radiación se darían cuando esta reactancia fuese aproximadamente cero, cosa que no se acostumbra a hacer, pues demasiada corriente dañaría al transformador de alto voltaje y fundiría la lámpara UV.

2.3. La línea litográfica UV

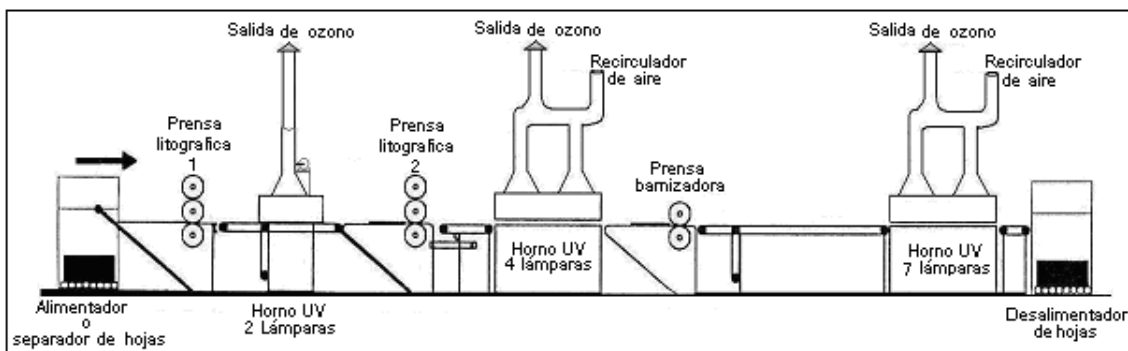
La línea litográfica UV es utilizada para curar o secar la tinta que es estampada en metal, papel o plástico en procesos de litografía, en nuestro caso el objeto a litografiar serán placas de metal. Las ventajas de utilizar un método de curado UV son la rapidez del secado, de 1 a 2 segundos, el tamaño de los hornos UV de aproximadamente 1.50 a 2.00 m. de longitud y el nivel de radiación preciso que es necesario para un curado perfecto.

Una línea litográfica de curado de tintas, por medio de radiación UV, está compuesta por alimentadores de hojas, prensas, hornos y desalimentadores.

- Alimentadores de hoja: son lugares donde se colocan los objetos a litografiar, los cuales, por medio de métodos mecánicos, son guiados uno a uno hacia las prensas litográficas.
- Prensas litográficas: son cilindros giratorios impregnados con tinta de un solo color, su función es la de plasmar la tinta en la placa de metal a litografiar.

- Hornos UV: su función es la de curar las tintas frescas, que son impregnadas en la placa de metal por medio de radiación UV.
- Desalimentador: su función es la de recibir el producto final, las hojas litografiadas se acumulan en esta área de la línea litográfica.
- Las líneas de litografía UV ofrecen gran variedad de diseños, en las cuales es posible realizar un formato completo de cuatro colores con un acabado de barniz, para otorgarle un brillo a la imagen litografiada, en la figura 24 se observa una línea de producción completa.

Figura 24. **Dibujo de línea completa de litografía de curado de tintas por medio de hornos UV**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1. Sistema de operación

La línea litográfica de curado de tintas esta compuesta de 3 hornos UV y 2 prensas litográficas para impregnar un color de tinta a la vez y una prensa barnizadora para dar brillo a la imagen litografiada.

La hojalata virgen es colocada en el sistema alimentador de hojas, de la línea, cada hojalata es guiada una a una por un sistema mecánico de fajas, lo cual hace que la lámina atraviese la primera prensa donde se le imprime el primer color, la lámina continúa su recorrido y atraviesa un horno pequeño de 2 lámparas UV.

- Horno 1: tiene como función la de dar un secado parcial al primer color de tinta, puesto que, seguidamente, atraviesa una segunda prensa, en la que se le imprime un segundo color y de estar la tinta fresca de la primer prensa, al cruzar la segunda mancharía el rodillo entintador y las siguientes hojas. De la salida de la segunda prensa, en donde se le impregnó un segundo color, pasa a un horno de mucha más potencia.
- Horno 2: en este horno es donde se realiza un curado total para el segundo color de la tinta; así como también, para el primer color, para seguidamente, pasar por otra prensa que le coloca barniz en ambos lados de la hojalata, para que se obtenga un brillo a la imagen plasmada en la hojalata. Este barniz es curado totalmente por un horno de mucha mayor potencia que los anteriores, por ser el barniz UV más viscoso que las tintas UV.
- Horno 3: este horno es utilizado para secar los barnices y tiene como característica principal de ser un horno con un nivel de radiación más potente que los anteriores. Finalmente, la hoja litografiada cae en el área del desalimentador donde es entregada, para después continuar con otros procesos que no son de litografiado.

2.3.1.1. Sistema de control para sincronía UV

La sincronía UV se entiende como la capacidad que tienen las prensas 1, 2 y barnizadora de girar sus rodillos al mismo tiempo y en el mismo ángulo de giro. Esto, es sumamente importante por que la prensa 1 debe colocar el color que le corresponde

exactamente en un mismo punto del diseño. La prensa 2 debe igualmente, colocar el siguiente color en otro punto exacto del diseño, cualquier variación en el ángulo de giro ocasionará problemas en la impresión, como imágenes con sombra o fantasmas. La prensa 1 y 2 debe girar al mismo tiempo que el rodillo de la barnizadora, puesto que el barniz no debe cubrir totalmente la hoja litografiada si no que debe dejar un espacio sin barniz que, después de ser cortada la hojalata litografiada, servirá como área de soldadura, de estar con barniz esta área producirá fugas o mala soldadura en el producto final.

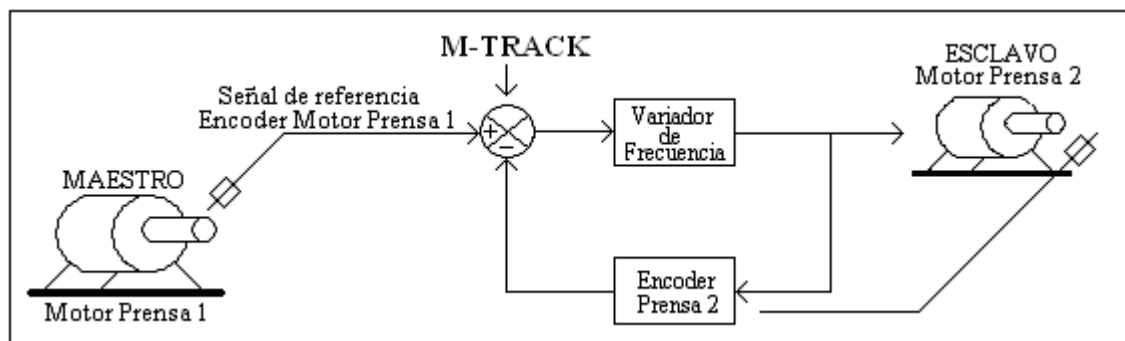
Cuando una tinta es cambiada en cualquiera de las dos prensas de la máquina, ésta se hace por un medio independiente una de la otra. Cuando lo anterior sucede, cambia el ángulo de giro o sincronía entre prensas; también, en el arranque de los motores estos pueden perder la sincronía. Para prevenir algunos de los problemas anteriores, la máquina esta provista por un sistema de control con retroalimentación negativa para mantener la sincronía de las prensas y barnizadora.

El sistema de control funciona de la siguiente forma: un motor maestro, el de la barnizadora, guía la velocidad de los esclavos motores de la prensa 1 y 2, la velocidad del motor de la barnizadora y su ángulo de giro es detectado por un encoder, que origina una señal de frecuencia de referencia. Un elemento detector de posición y velocidad llamado M- TRACK recibe la señal del maestro y la compara con el motor de la prensa, al existir variación automáticamente, ajusta la velocidad por medio de aumento o disminución de la frecuencia de un variador electrónico de frecuencia, también se realiza un ajuste en la posición de la prensa 1.

La prensa 1 controla a la 2 y posee un sistema de control similar al anterior. Para el control de la prensa 2. La señal de referencia es el de la prensa 1, otro detector de posición y de velocidad recibe la señal de la prensa 1 y la compara con el de la prensa 2 al existir variación, automáticamente ajusta la posición y velocidad de la prensa 2.

Como se puede observar al variar la velocidad y posición del motor y barnizadora, automáticamente se ajustaran a esa velocidad y posición los motores de la prensa 1 y 2, la descripción por bloques de este sistema de control se hace referencia en la figura 25.

Figura 25. **Sistema de retroalimentación negativa para sincronía de prensa 1 y prensa 2**



Fuente: elaboración propia.

3. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO

La línea litográfica de curado de tintas por medio de radiación ultravioleta, ha presentado varios inconvenientes en su funcionamiento que contribuyen al aumento del número de tiempos muertos durante su operación, entre estos podemos mencionar: fallas técnicas o procedimientos de operación inadecuada por parte de los operarios, fallas mecánicas y fallas eléctricas, siendo los fallos eléctricos en los hornos UV los que contribuyen a un porcentaje mayoritario en le número de estos tiempos muertos.

Como se mencionó, el objetivo es crear un documento que pueda brindar la información técnica necesaria, tanto de un funcionamiento correcto como operativo al momento de que se requiera algún tipo de mantenimiento o información relacionada con la operación del horno de curado UV. Actualmente, no se cuenta con este documento y los ajustes ya sea de temperatura de operación, altura, controles de tiempo de giro (para lámparas curvadas) u otros procedimientos para el reemplazo de las lámparas en la cabina del horno UV se han hecho a base de prueba y error. Por lo anteriormente descrito, este documento servirá como guía de apoyo para un procedimiento correcto de operación y mantenimiento.

3.1. Delimitación del campo objeto de estudio

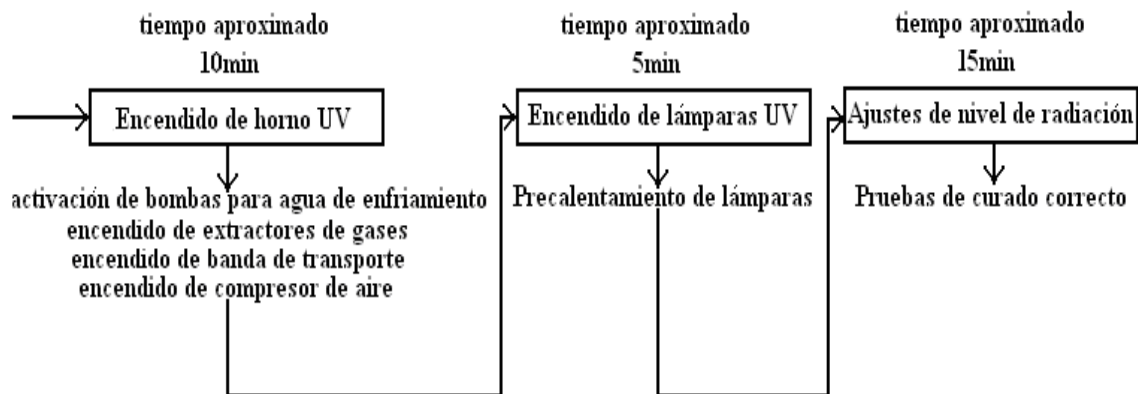
Este estudio será dirigido únicamente a problemas que involucran el sistema eléctrico en la cabina del horno UV, debido a que en esa zona donde se presenta el mayor porcentaje de los inconvenientes eléctricos del total de la línea litográfica UV.

Entre los inconvenientes actuales se puede mencionar, el reemplazo constante de lámparas UV que se encuentran quemadas por distintas posibles razones, las cuales

pueden ser por sobrecalentamiento, ya sea por poca refrigeración o por procedimientos inadecuados al momento de sustituir la lámpara, o por niveles de radiación constantes, cuando los obturadores o cortinas son cerrados también contribuyen al deterioro constante de las lámparas además de otros problemas que veremos más adelante.

La importancia de buscar una solución técnica a estos problemas radica en que actualmente la línea de litografía UV se encuentra operando de una forma empírica, es decir no se cuenta con ningún tipo de información técnica que sirva como parámetro para ajustes correctos, en cuanto a funcionamiento de las lámparas UV se refiere, y al no contar con un documento técnico de operación se realizan operaciones de ajustes o mantenimientos que tienen otras consecuencias negativas para la operación del equipo, en la figura 26 se observa el diagrama de tiempos de proceso de encendido del horno.

Figura 26. **Diagrama de tiempos de procesos de encendido de horno UV**



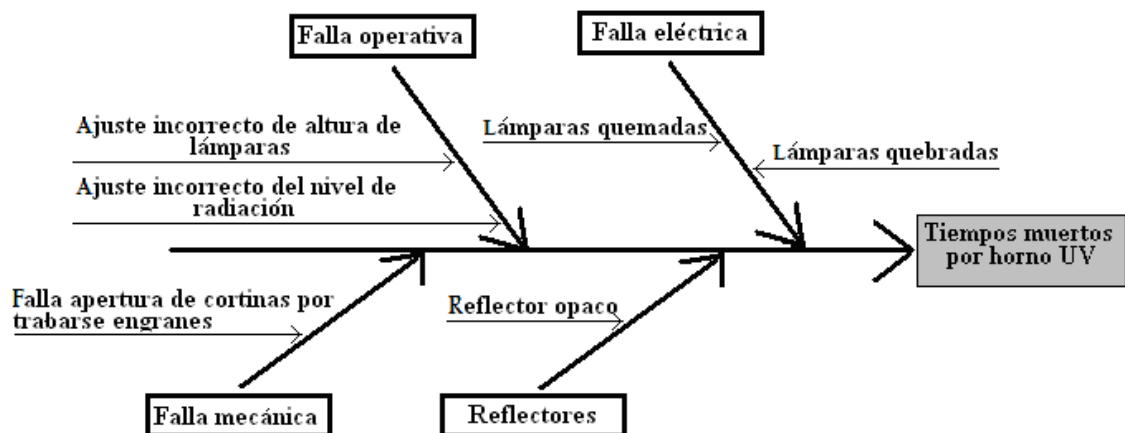
Fuente: elaboración propia.

3.2. Causas de los tiempos muertos

Los motivos por los cuales la máquina deja de producir, y que conciernen directa o indirectamente al sistema eléctrico, son los que se originan en los siguientes elementos o sistemas: lámparas UV, sistemas de cortinas, niveles de radiación y reflectores.

Para las lámparas UV como se mencionó en el capítulo dos, no se cuenta con un procedimiento técnico para el reemplazo o mantenimiento de dichas lámparas. Lo cual influye en el tiempo de vida de las mismas y por esa razón se han tenido que reemplazar en tiempos de producción, lo cual implica detener la producción para sustituir la lámpara dañada contribuyendo de esta forma al aumento de los tiempos muertos, en la figura 27 se elabora un diagrama de causa raíz de los problemas comunes en el horno.

Figura 27. **Diagrama de causa-raíz de tiempos muertos debido a fallos en el horno UV**



Fuente: elaboración propia.

El sistema de cortinas, así como los sistemas mecánicos en el interior del horno UV, están gobernados por el sistema eléctrico, cualquier inconveniente en cada uno de

estos provoca que la producción se detenga cuando la máquina se encuentra en operación.

Otro problema fundamental, que contribuye al desperdicio de la materia prima y al aumento de los tiempos muertos, es obtener el nivel de radiación para un curado adecuado, esto porque actualmente es imposible controlar los niveles de radiación UV que emiten las lámparas.

3.2.1. Lámparas UV

El principal problema que se puede observar en una lámpara UV es el sobrecalentamiento que sufren los extremos o base metálica de las lámparas llamados casquillos, esto provoca que en ese punto la lámpara sea vulnerable y al menor movimiento se quiebre. Una lámpara UV utilizada para curado de tintas litográficas llamada lámpara de presión media, tiene un promedio de vida de alrededor de 1000 horas, en nuestro estudio no se tiene un récord de tiempo de uso de las lámparas, por lo cual no se puede determinar con exactitud cuando la lámpara debe reemplazarse, lo cierto es que las lámparas no llegan a cumplir este período de tiempo de vida y se han ido reemplazando por el mismo problema aproximadamente cada 100 horas. El problema que se menciona se debe a que los niveles de radiación cuando las lámparas no son requeridas se mantienen siempre al mismo nivel.

Cuando las lámparas no son requeridas por breves períodos de tiempo, las cortinas u obturadores deberían de cerrarse y disminuir el nivel de intensidad de la lámpara, la lámpara entonces se encuentra en un período de espera a bajo nivel de radiación. Pero lo anterior no ocurre, lo que sucede es que la cortina se cierra cuando las lámparas no son requeridas y la intensidad de radiación se mantiene sin disminuir su nivel por lo cual, la intensidad de radiación se mantiene y, debido a que la lámpara está encerrada provoca el sobrecalentamiento, el cual crea el desgaste en los extremos de la lámpara por ser más

delgados y que estos se encuentren relativamente susceptibles a cualquier movimiento. Con un movimiento normal de operación como el simple hecho de apertura de cortinas, levantamiento de horno o cualquier otro movimiento las lámparas se quiebran.

3.2.2. Sistemas de cortinas o obturadores

Las cortinas u obturadores son canales metálicos que se mueven alrededor de la lámpara UV, se utilizan para cubrir totalmente a la fuente de UV y evitar la radiación para prevenir un sobrecalentamiento de las bandas de la faja transportadora o para medida de seguridad de los operarios. El principal inconveniente que presentan las cortinas en el horno UV es el sistema mecánico que es el encargado de proporcionar el movimiento de cierre o apertura de las mismas.

Normalmente, se considera como parte del problema eléctrico, pues un solenoide controla una válvula neumática que permite el paso de aire comprimido, por medio de la presión del aire se mueve un pistón neumático que a su vez mueve el mecanismo de apertura de cortinas. Al estar el mecanismo trabado no es posible conseguirse la apertura de cortinas a pesar de estar en funcionamiento correcto el sistema eléctrico.

Este problema se debe a que existen pernos en los extremos que sostienen las lámparas a sus bases, los cuales normalmente se aflojan provocando que la base de la lámpara caiga y la cadena del movimiento de cortinas se endurezca a tal punto de no permitir el libre movimiento generado por el pistón neumático.

3.2.3. Niveles de radiación

Otro problema importante que causa un atraso en la producción es la obtención de un nivel óptimo de radiación para un curado adecuado. Cuando esto sucede se ve en la necesidad de esperar un lapso de tiempo tal que permita a las lámparas obtener su nivel

máximo nivel de intensidad, esto se da principalmente cuando no se encienden desde un principio las lámparas adecuadas pues no todas las lámparas ofrecen un nivel de radiación igual, el problema que se menciona se debe a dos razones: no todas las lámparas ofrecen un nivel de radiación igual; cuando el operador coloca al azar un nivel de intensidad para cada lámpara sucede a veces que utiliza las lámparas que ofrecen un nivel menor de radiación en comparación con las demás. Esto hace que el operador crea que tiene un nivel de radiación determinado aunque no es de esa forma. Lo anterior se debe a que no se puede realizar un cambio efectivo en el banco de capacitores, el cual asegure que todos los capacitores del banco entren en funcionamiento cuando se les requiere. Otra razón es que el banco de capacitores, el cual es el responsable de hacer los cambios en los niveles de radiación está terminando su vida útil, por lo cual algunas veces ofrecen variaciones en los niveles de radiación.

Los problemas mencionados se pueden solucionar habilitando primeramente un detector o tarjeta electrónica que es el encargado de comparar el nivel de corriente que circula por el secundario del balastro o transformador de alto voltaje. Esta tarjeta tiene como función la de indicar cuando existe un nivel bajo de corriente o también, que existe una falla eléctrica en el desempeño de radiación UV de una lámpara UV, por lo cual se hace necesario un detector o tarjeta para cada lámpara UV, pues cada lámpara tiene un circuito de encendido independiente. Actualmente, estas tarjetas electrónicas se encuentran fuera de servicio por no contar con información eléctrica de su funcionamiento.

Para el caso de los capacitores éstos se deben reemplazar, pues como se mencionó varios están concluyendo su vida útil, además que los valores de capacitores no son los mismos para cada lámpara y estos deben ser los mismos para todas las lámparas UV.

Debido a que los valores de capacitores no son los mismos para todas las lámparas UV y los valores actuales son aproximadamente iguales, no es posible obtener un nivel

de radiación idéntico para cada lámpara UV, pero si es posible obtener valores aproximados de unos con otros.

3.2.4. Reflectores

Los reflectores son elementos metálicos que distribuyen y enfocan la radiación UV al objeto a curarse. El problema que se presenta en los reflectores es que estos con regularidad se opacan y según especificaciones de los fabricantes del 65 al 75% de la salida UV depende del tipo de reflector, por lo tanto es sumamente importante y crítico que estos se mantengan en óptimas condiciones. Este problema se puede solucionar creando un mantenimiento estricto para reflectores.

3.2.5. Interruptores de seguridad

Los interruptores o microswitchs de seguridad están ubicados de tal forma que al ser activados estos desconectan todo el sistema eléctrico del horno UV. El problema actual es que estos interruptores desconectan todo el sistema eléctrico provocando que las lámparas se apaguen sin que los operarios se den cuenta, pasando de esta forma cantidades considerables de láminas en el interior del horno sin curar durante el proceso de curado, esto hace que la tinta vaya fresca y dañe el resto de las láminas creando grandes cantidades de desperdicio. Cualquier activación de los microswitchs de la cabina del horno o de los balastos provoca este problema y las razones de su activación son variadas.

3.2.5.1. Interruptores de seguridad de cabina del horno

Estos se encuentran ubicados en la parte inferior de la cabina del horno como parte de la seguridad para el operador, éstos se colocan de esa forma con el propósito de que las lámparas no enciendan cuando la cabina del horno se encuentre levantada.

El problema de que estos interruptores o microswitchs de seguridad se activen en pleno proceso de producción se da cuando la presión del aire forzado es mayor a la establecida o por alguna razón, ésta se encuentre entre el punto máximo permitido, algunas pequeñas vibraciones provocan que el horno se levante lo suficiente como para activar los microswitchs y crear el problema descrito anteriormente.

3.2.5.2. Interruptores de seguridad de balastos

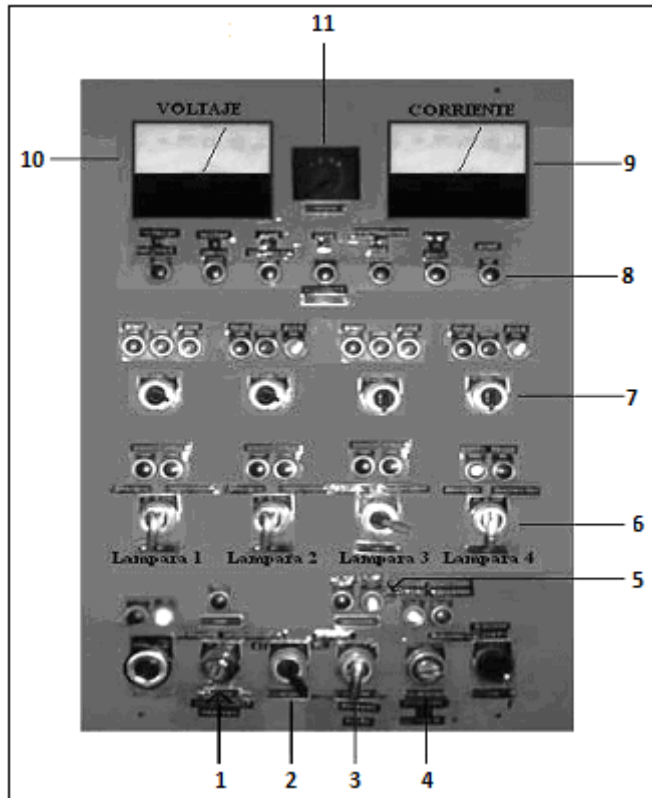
Cuando por alguna razón eléctrica como lo son armónicos, arranque de varios motores al mismo tiempo o algún otro tipo de sobrecarga, los interruptores de seguridad de los balastos se activan como sistema de protección del mismo, al activarse el interruptor de seguridad hace que las lámparas UV del horno y con ello todo el sistema eléctrico del horno se desactive.

3.2.6. Páneles eléctricos

El pánel eléctrico de un horno UV está formado por controles de intensidad de potencia de cada lámpara, al manipular en la posición deseada el interruptor del control, se obtiene la potencia de radiación que es requerida para el curado del objeto.

En el panel también se logra visualizar el voltaje de consumo de cada lámpara y la corriente eléctrica que está demandando la lámpara, con estos datos es posible determinar si existe algún problema en el funcionamiento de cualquiera de las lámparas, como se observa en la figura 28 el panel está constituido de la siguiente forma:

Figura 28. **Fotografía de panel eléctrico de control de encendido de lámparas UV**



Fuente: panel de horno de luz ultravioleta de 4 lámparas. Grupo Zapata Guatemala.
20 de noviembre de 2007.

Tabla I. **Funciones de panel de horno UV**

No.	Función
1	Interruptor maestro
2	Control de potencia.
3	Selector de lámparas requeridas
4	Interruptor de tres estados para control de apertura de cortinas; abierto, cerrado, automático
5	Sistema listo y sistema falla
6	Encendido de lámpara UV, dos estados, encendido y apagado
7	Selector de nivel de radiación
8	Luces piloto; indicadores de puertas de panel abiertas, puertas de cabina de horno abiertas, falta de refrigeración en balastos, movimiento de fajas de transporte del objeto a curarse, temperatura de agua, flujo de agua, aire comprimido
9	Amperímetro análogo con rango de medición de 0 – 15 A
10	Voltímetro análogo con rango de medición de 0 – 2500VAC
11	Selector de cuatro posiciones para visualización de voltajes y corrientes para cada lámpara UV.

Fuente: panel de horno de luz ultravioleta de 4 lámparas. Grupo Zapata Guatemala.

El sistema de operación de control del panel eléctrico es el siguiente; el interruptor maestro brinda la energía eléctrica al panel eléctrico, un segundo control de potencia se utiliza para confirmar que realmente se desean activar las lámparas UV y continuar con el procedimiento de encendido.

- Cortinas y lámparas: este interruptor posee tres estados: abierto, automático y cerrado, para el control de las cortinas y lámparas. La apertura de las cortinas se

puede hacer de forma manual colocando el interruptor de cortinas y lámparas en la posición abierta y se puede cerrar colocando el interruptor en la posición de cerrada, en el modo automático la apertura es controlada por medio del avance de láminas de hojalata a litografiarse.

- Sistema listo y sistema falla: el sistema listo indica que todos los elementos tanto de seguridad como de funcionamiento normal se encuentran en sus condiciones de operación correcta, cuando este indicador está activo quiere decir que las puertas de los gabinetes del panel y de los balastros de la cabina del horno se encuentran cerrados, hay aire que sirve para enfriamiento en los balastros de las lámparas, las fajas de transporte se encuentran en movimiento, la temperatura y el flujo de agua son adecuados y existe aire comprimido en la cabina del horno. Cuando algo de lo anterior mencionado no se cumple el indicador de sistema falla se ilumina.
- Cuando el indicador de sistema falla está activo, no se puede realizar ninguna operación como encendido de lámparas y movimientos de apertura y cierres de cortinas. Cuando el sistema se encuentre listo se puede continuar con el procedimiento de encendido de lámparas. El procedimiento de encendido de lámparas UV se hace moviendo el interruptor de cada lámpara de la posición apagada o encendido y se ajusta el nivel de intensidad de radiación deseado pues cada lámpara UV posee tres niveles, los cuales son: bajo, mediano y alto por el selector que se encuentra en la parte superior del encendido de la lámpara.
- Se debe tomar en cuenta que al realizar el procedimiento de encendido las lámparas no se encienden si no se encuentran listas para encenderse y únicamente esperan la señal del encendido. La señal de encendido se obtiene de un panel eléctrico ubicado de tal forma que con sólo presionar un botón se enciendan todas las lámparas. Si el sistema no se encuentra listo no es posible realizar el encendido.

Cuando el botón de encendido es presionado en el panel principal se observa un aumento en el nivel de corriente desde cero hasta aproximadamente 12A y una disminución en el nivel de voltaje, lo anterior es producto de la formación del gas de mercurio en interior de la lámpara UV como consecuencia del alto voltaje a que son sometidos los electrodos de la misma.

Cuando el nivel de voltaje y corriente llegan a estabilizarse se ilumina cualquiera de los siguientes indicadores del nivel de radiación, estos indicadores denotan en que nivel de radiación ya sea bajo, medio o alto se encuentra operando en ese instante la lámpara UV. Es posible observar el nivel de voltaje y corriente de cada lámpara moviendo el selector para la lámpara deseada.

Lo descrito anteriormente, es el procedimiento correcto de encendido de lámparas UV de cualquier horno UV. Actualmente es difícil obtener un control en el nivel de radiación adecuado o preciso, esto por que los niveles de radiación y de luces piloto indicadoras son controlados por dispositivos que están fuera de funcionamiento por no poseer información técnica como son diagramas esquemáticos o información de operación; esto provoca que el operador esté constantemente midiendo el nivel de intensidad de radiación con el radiómetro y ajustando los niveles de radiación.

El control del nivel de radiación de cada lámpara UV es llevado por medio de una tarjeta electrónica que funciona como un sensor detector de variaciones de voltaje en el secundario del balastro, cuando el voltaje excede al normalmente establecido (aproximadamente 1300V) éste activa unos relevadores que desconectan todo el equipo eléctrico de la lámpara UV y encienden todos los indicadores de fallo. Como se mencionó, actualmente estas tarjetas electrónicas se encuentran fuera de servicio puesto que también deben calibrarse adecuadamente para que se active cuando la tensión en el secundario del balastro exceda a la establecida.

El principal inconveniente de no ajustar las tarjetas electrónicas es que provocan un descontrol en el nivel de radiación, algunas lámparas se encuentran trabajando a su máxima potencia siempre sin poderles controlar su nivel de radiación, aún cuando las cortinas u obturadores se encuentren cerrados, lo que hace que la lámpara se encuentre encerrada a una alta temperatura provocando que se deterioren los casquillos o electrodos de las mismas y haciéndolas más frágiles o susceptibles a quebrarse en los extremos. Contrario a lo anteriormente mencionado, algunas lámparas se encuentran siempre en un nivel mínimo y no se les puede ajustar al nivel adecuado de radiación.

Otro problema que se puede mencionar es cuando se activa cualquiera de los siguientes indicadores; puertas de gabinetes abiertas y acceso a horno, aire en balastos, movimiento de fajas, temperatura de agua, flujo de agua o aire comprimido, las lámparas UV se apagan como medida de seguridad, lo cual es un funcionamiento correcto, pero esto ha ocurrido en varias ocasiones sin que los operarios se den cuenta de que las lámparas están apagadas y la hojalata con tinta fresca pasa por los hornos UV sin secarse o curarse provocando cantidades de desperdicio ya que estas se manchan unas con otras.

Los indicadores que con regularidad se activan en el problema mencionado son los que señalan que la cabina del horno está levantada, esto se da algunas veces cuando no se regula bien la cantidad de aire comprimido que sirve para levantar la cabina del horno, cuando esto sucede, la cabina del horno se encuentra de tal forma que con cualquier movimiento la cabina se levante lo suficiente como para activar el microswitch de seguridad.

Otro indicador que también se activa regularmente es el de aire comprimido, esto se da porque en algunas ocasiones el interruptor térmico del motor del compresor se activa por razones como lo son variaciones de voltaje o armónicos, entonces esto también hace que el compresor se apague y desconecte todo el sistema de encendido de las lámparas. La solución a estos problemas será primero la habilitación de tarjetas

electrónicas y elaboración de sistema de alarma que indique que las lámparas están apagadas.

3.3. Tiempo de exposición a la radiación UV

Los tiempos de exposición a la radiación UV dependen de la irradiación UV que puede generar el horno y del tipo de tinta o barniz a curarse. Normalmente se diseñan hornos con capacidades de curar una tinta a la misma velocidad de curado de un barniz, esto porque el barniz UV es mucho más viscoso que una tinta y por ello requiere de mucho más energía UV para su curado total.

Cuando el tiempo de exposición a la radiación UV aumenta más de lo recomendado por el fabricante la energía infrarroja que emite la lámpara UV hace que el recubrimiento a curar ya sea este tinta o barniz se sobrecaliente y se quemé, esto también provoca en la mayoría de los casos cambio en la tonalidad de los colores originales del producto cuando este no llega hasta el punto de quemado, en algunos casos este problema se conoce como sobre horneado.

Por tal razón, se debe tener en cuenta que la velocidad de exposición a la energía que emite la lámpara UV es fundamental pues entre mayor el tiempo de exposición, mayor será la energía infrarroja que reciba el material a curarse.

En nuestro caso objeto de estudio, no se cuenta con una medida confiable del tiempo de exposición que debe llevar el material curarse, que en algunos casos alcanza temperaturas de 40°C, lo que puede disminuirse bajando el tiempo de exposición o dejándolo como el fabricante establece, que es aproximadamente un segundo, idealmente no debe calentarse el material a curarse.

3.4. Sistema de enfriamiento

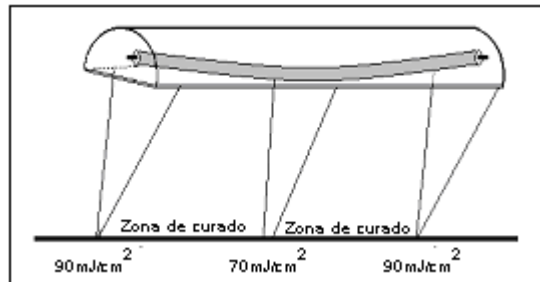
El sistema de enfriamiento para las lámparas UV utilizadas para el curado de tintas u otros objetos en movimiento continuo, se puede hacer de dos formas: por aire forzado o por sistemas de circulación de agua a bajas temperaturas conocidos también como chillers.

El enfriamiento tiene como propósito el de mantener una adecuada temperatura de operación de la lámpara UV. La temperatura promedio de operación para una lámpara UV utilizada en procesos continuos de litografía es de 600 a 800° C. Debido a que el sistema de enfriamiento puede ser regulado (aire forzado, chiller), la temperatura de operación puede ser ajustada según nuestro equipo de lámparas, para mantener la temperatura establecida por el fabricante.

En el caso de poseer un enfriamiento excesivo en las lámparas (temperaturas menores a 600°C), se provocará que el mercurio se condense detrás de los electrodos y se separe del plasma afectando la potencia y el funcionamiento de la lámpara, lo anterior se verá reflejado en que la lámpara enciende pero no alcanza su intensidad de radiación completa.

En el caso contrario al anterior, si se tiene un sistema de enfriamiento pobre, se tiene el problema de una lámpara UV trabajando a alta temperatura, lo que provoca que la lámpara se curve o adquiera forma de arco, esto tendrá como consecuencia que la lámpara no genere una radiación uniforme y por lo tanto, no se tendrá el mismo valor de radiación al objeto a curarse como se puede observar en la figura 29:

Figura 29. **Dibujo de deformación de lámpara en forma de arco y la radiación irregular en el objeto a curar**



Fuente: elaboración propia.

El problema principal que ocasiona una radiación no uniforme es que el material estará bien curado a los extremos no así, en el centro donde probablemente al realizarse las pruebas de adherencia de tinta o barniz ésta se levante, el problema será mayor si el material curado debe ser cortado y con esto todos los pedazos del material que casualmente tengan corte en el centro sean de mala calidad o rechazados creando desperdicios.

La alta temperatura provoca también, que el mercurio se evapore rápidamente reduciendo de esta forma la vida útil de la lámpara.

4. PROPUESTA DE MEJORAS A HORNO LITOGRÁFICO ULTRAVIOLETA

La importancia del presente capítulo se basa en que conociendo las posibles causas en el horno UV, que originan tiempos muertos en la producción, riesgos para el personal o para la máquina, éstos se pueden evitar o solucionar de una forma técnica o adecuada que es nuestro objetivo principal.

De lo mencionado, se hará una serie de propuestas para mejoras y adquisición de equipo eléctrico-electrónico, que tendrá como función la de llevar controles de funcionamiento y operación de la cabina del horno de forma adecuada.

Estas mejoras son enfocadas a cubrir dos puntos en específico de esta investigación como lo son: eficiencia y seguridad; la eficiencia se conseguirá reduciendo el número de tiempos muertos, aplicando las mejoras que detallaremos enseguida y la seguridad de la que tienen dos objetivos que son: seguridad para el equipo y seguridad para el personal.

Para el enfoque de eficiencia trataremos los problemas que ocupan el porcentaje mayoritario de tiempos muertos, como lo son: el cambio de lámparas UV quemadas durante la producción, obtención de niveles adecuados de radiación y control de apagado de horno en proceso de producción por medio de alarmas para evitar desperdicios.

Para seguridad del equipo buscaremos establecer parámetros adecuados de enfriamiento de lámparas, habilitación de contadores de falla y controladores de niveles de radiación en tiempos de espera o con obturadores cerrados.

Siguiendo el tema de seguridad de los operarios, se tratará sobre la importancia de los indicadores de funcionamiento en los paneles eléctricos, control de fugas de ozono en la cabina del horno y con el derramamiento de mercurio que poseen las lámparas UV cuando éstas se quiebran.

4.1. Fallas eléctricas

Entre las fallas del tipo eléctrico se contabilizan, el reemplazo de lámparas UV ya sea porque no generan suficiente radiación o por quebrarse en sus extremos o casquillos, y que actualmente suceden en tiempos fuera de control de mantenimiento.

4.1.1. Lámparas UV

Las lámparas generadoras de luz ultravioleta utilizadas para el curado de tintas litográficas son hechas de un vidrio de cuarzo, que tienen en su interior mercurio sometido a una media presión (10 -15 bares) y sometida a potencias de 10 a 12KW aproximadamente, para convertir este mercurio en gas y crear el arco eléctrico, que tiene propiedades de generar una luz ultravioleta intensa, aparte de generar luz UV; también, genera longitudes de onda en el espectro visible e infrarrojo, lo que produce una luz que se detecta por el ojo humano y una elevación de temperatura.

El objeto de volver a hacer mención del funcionamiento de una lámpara UV, es que se debe tener claro el concepto de que una lámpara de media presión de mercurio es capaz de generar tres longitudes de onda que caen en el espectro ultravioleta, visible e infrarrojo; siendo el espectro ultravioleta, el único útil para el curado y los otros dos espectros, considerados como pérdidas o generados sin función alguna. De tal forma que, para el curado de tintas y barnices por medio de radiación UV, bastaría con tener una lámpara que genere sólo el espectro UV.

La luz visible que genera la lámpara de mercurio provoca daños en el sentido de la vista cuando es observada directa o indirectamente por períodos de tiempo moderado, esto debido a la intensidad de luz visible que genera la lámpara, por ello se hace necesario el contar con equipos de protección visual. La luz infrarroja que emite la lámpara crea el calentamiento de los materiales a curarse, también esto hace que el cuarzo que es el material del cual esta hecha la lámpara se deforme, la luz infrarroja además provoca el calentamiento excesivo en el interior del horno UV; haciendo que el oxígeno se transforme en ozono, este ozono tiene como característica la de absorber el oxígeno del ambiente y producir olores desagradables. Por lo mencionado, se hace necesaria la refrigeración del ambiente de las lámparas por métodos extremos, como el caso del sistema de refrigeración forzado (*chiller*) o refrigeración por aire forzado.

Una lámpara de mercurio de media presión tiene un tiempo aproximado de 1000 horas de vida, cuando la lámpara UV es nueva; genera grandes cantidades de luz UV y cantidades menores de luz visible e infrarroja, que se ve reflejado en el material con un curado uniforme y con temperaturas templadas, después de ser sometidas a la radiación de que emiten las lámparas.

4.1.1.1. Situación actual de la lámpara UV

A medida que el tiempo de funcionamiento de las lámparas transcurre, se van perdiendo las propiedades de los materiales de fabricación y con esto sus cualidades iniciales de funcionamiento también cambian, haciendo que las lámparas se quemen, se quiebren en sus puntos más vulnerables o pierdan su potencia de funcionamiento, por esta razón se hace importante llevar los controles del tiempo de operación, del número de veces que se enciende la lámpara y el número de fallos que tiene la lámpara UV durante su vida útil para calcular el reemplazo de estas antes que se dañen durante el proceso de producción como sucede actualmente.

4.1.1.2. Solución

Debido a que no se cuenta con un control del número de veces que se activa la lámpara, se elaborará un circuito que pueda ser capaz de detectar el número de veces de encendido de la lámpara, y su tiempo de funcionamiento.

Esto hará que se tenga control de la cantidad de veces que el operador encienda y apague una lámpara en particular, además de controlar el tiempo en el que le corresponde el mantenimiento cada lámpara.

Para el diseño de este circuito se tomará en cuenta el voltaje de cada lámpara en el secundario del transformador del balastro el cual asciende a valores de 10KV y del cual el voltaje deberá ser bajado por un transformador reductor a un nivel de tensión de entre 12VAC para tener una tensión de control reducida.

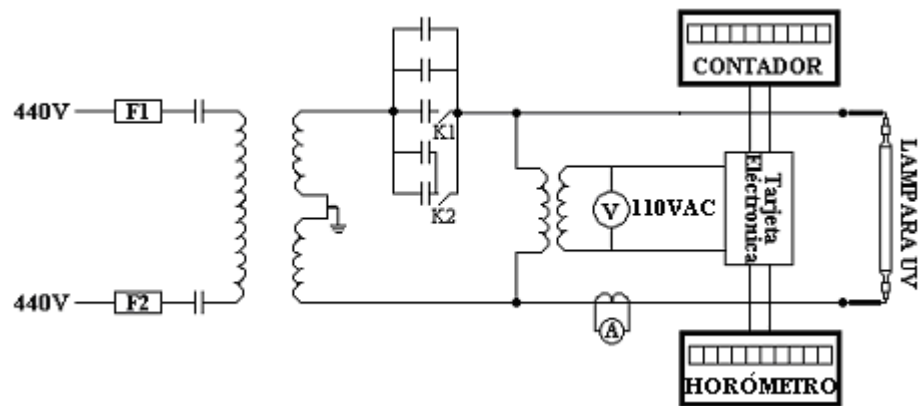
La razón por la que se debe colocar el circuito de control en el lado de alta tensión se debe a que este circuito será capaz de indicar la intensidad de generación de radiación UV de las lámparas por medio de una luz piloto en el que el operador solamente con observar el indicador sabrá con cuanta potencia esta trabajando cada lámpara además de que del lado primario del transformador es difícil notar cambios considerables de corriente cuando se cambian los niveles de radiación.

4.1.1.3. Diseño

Se muestra en la figura 30 el circuito eléctrico en el que se observa que por el lado de baja tensión del transformador están colocados una serie de capacitores en paralelo que tienen como función el aumento de la impedancia para reducción de la potencia en los bornes de la lámpara, de la misma forma del lado del secundario se encuentra un

segundo transformador reductor en donde a la salida de este segundo transformador está conectada la tarjeta electrónica de control de encendido y apagado de la lámpara.

Figura 30. **Circuito eléctrico para el contador y horómetro de control de encendido de lámpara UV**



Fuente: elaboración propia.

Este circuito cumple el requerimiento de control de encendido de las lámparas en el que el transformador ubicado del lado de alta tensión se encargará de reducir el voltaje a nivel de bajo voltaje de 110VAC y que se utilizará para monitorear el encendido de las lámparas, la potencia suministrada a cada lámpara para emitir el nivel de radiación correcto, para el horómetro y para control de tiempo de encendido de la lámpara.

La implementación del anterior circuito dará como resultado, tener el control del tiempo de vida de la lámpara, reemplazar la lámpara durante tiempos de mantenimiento al acercarse el límite de su tiempo de uso, también se podrá implementar un plan de giro de la lámpara 180° para evitar que éstas se deformen en una sola dirección, dependiendo del tiempo de uso de la lámpara.

4.2. Fallas operativas del horno UV

En ocasiones las fallas en los equipos se deben a una utilización de forma incorrecta del horno por parte del personal operativo, entre este tipo de fallas comúnmente tenemos las originadas por los ajustes incorrectos de la altura de las lámparas lo que causa curado débil y por ello el aumento de potencia en el nivel de radiación.

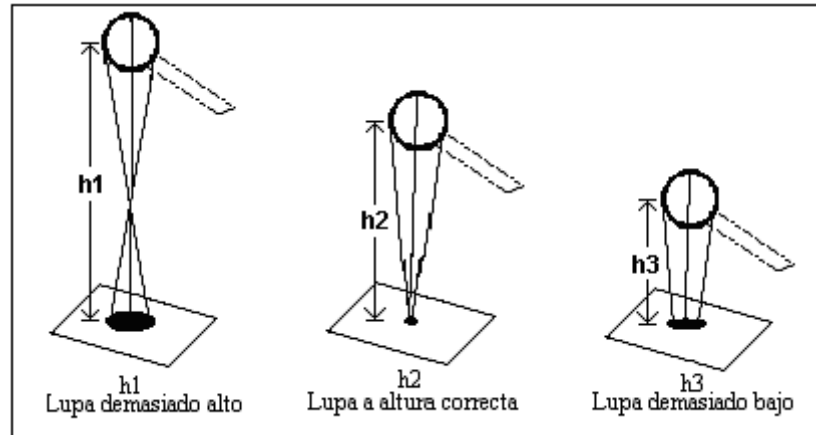
4.2.1. Solución a fallas operativas, ajuste de altura de lámparas

Debido a que el horno UV viene diseñado de forma que con sólo girar una manecilla mecánicamente este proporciona un movimiento vertical hacia arriba o debajo de todas las lámparas dependiendo del sentido de giro, este ajuste se le debe prestar mayor atención para conseguir el máximo rendimiento de cada una de las lámparas y realizarse como se indica seguidamente.

4.2.1.1. Importancia de ajuste de altura de lámparas UV

Uno de los factores mencionados en el capítulo anterior, que influye en la radiación que llega al objeto a curarse, es la altura de las lámparas con respecto al objeto. Como se indicó en el capítulo anterior en el ejemplo de una lupa con la que se pretende quemar un papel con los rayos del sol atravesando a través de ella, se observa que existe una altura a la cual la concentración de los rayos del sol es máxima y fuera de esta altura la concentración de la energía del sol es opaca o débil, lo mismo sucede con las lámparas para curado de tintas UV, la concentración de la radiación es máxima a cierta altura del objeto hacia la lámpara como se ve en la figura 31:

Figura 31. Ejemplo de posición de lupa para simular intensidad UV



Fuente: elaboración propia.

La altura a la que se debe ubicar la lámpara UV depende del tipo de reflector que se utiliza para procesos de curado de tintas se utiliza el reflector parabólico, que tiene como característica la de enfocar toda la radiación en un sólo punto, por esto la altura a la que se debe colocar la lámpara UV con respecto al objeto a curarse dependerá del tamaño de la parábola que forma el reflector, lo que quiere decir que con solo medir la altura y ancho del reflector de nuestro horno podremos calcular el foco que forma esa parábola y en ese punto colocar la lámpara UV para asegurarnos la máxima radiación posible.

El horno posee un indicador de altura de las lámparas regularmente en la parte frontal del mismo y, también posee un cilindro para ajuste de altura. El cilindro debe ser girado con una llave especialmente diseñada para hacer girar el cilindro, a medida que el cilindro es girado en una dirección u otra, la altura de las lámparas va subiendo o bajando dependiendo de la dirección de giro. El indicador ubicado a un costado del horno señalará la altura a la que se encuentran las lámparas con respecto al objeto a curarse.

Nunca se debe de tratar de cambiar la altura de las lámparas durante procesos de producción, pues los extremos de las lámparas se encuentran sometidos a una alta temperatura, por lo que cualquier movimiento podría provocar que las lámparas se quiebren en esos puntos. Se debe asegurar que la posición de las lámparas sea paralela a la horizontal por medio de un nivel; pues, con el movimiento de la altura, puede suceder que las lámparas queden inclinadas y provoquen un curado adecuado, donde la lámpara se encuentre a la distancia correcta y mal curada donde la altura no sea la correcta.

4.2.1.2. Propuesta para ajuste correcto de altura de lámparas

Este ajuste se debe realizar en tiempos fuera de producción, se debe hacer con una lámpara nueva instalada en la parte central del horno y verificarse cuando se realiza mantenimiento al equipo, como se hizo mención el fabricante de las lámparas ofrece tres niveles de radiación para cada una de las lámparas siendo estas 30,60 y 90 milijoules sobre centímetro cuadrado, se debe contar con un radiómetro que cubra este rango de potencia.

Seguidamente se debe encender la lámpara de más reciente instalación en el horno a la potencia intermedia de radiación y ajustar la altura de la lámpara para alcanzar en el radiómetro la lectura de 60 mJ/cm².

Después de esto subir la intensidad de radiación a la máxima potencia, en el radiómetro se debe observar una lectura cercana a los 90 mJ/cm², encender una segunda lámpara y mantener ambas lámparas a la potencia intermedia, la radiación emitida por ambas lámparas debe estar entre 120 mJ/cm², subir a la máxima potencia las lámparas.

La lectura del radiómetro debe marcar aproximadamente 180 mJ/cm², si las anteriores lecturas se muestran en el radiómetro estaremos seguros de que las lámparas están a su altura correcta. Si la lectura del radiómetro en la medición con una sola

lámpara a la potencia media muestra menor de los 60 mJ/cm², la altura de la lámpara se encuentra en posición más alta o más baja de lo que recomienda el fabricante.

4.2.2. Solución a fallas operativas, ajuste de nivel de radiación

Al obtener de forma técnica la altura óptima de las lámparas UV con respecto al objeto a curarse, se notará la diferencia en cuanto a la intensidad de radiación, lo que a su vez llevará a obtener el máximo rendimiento para el curado de tintas y barnices UV, por lo que seguidamente analizaremos los ajustes necesarios para conseguir los niveles de radiación adecuados.

4.2.2.1. Ajuste del nivel de radiación

La radiación UV es la energía que produce la polimerización o reacción química que hace que los materiales se cristalicen, en nuestro estudio como se hizo mención en el capítulo dos; la radiación UV es emitida por lámparas UV diseñadas para suministrar distintos niveles de radiación.

Debido a que la radiación que emite cada lámpara depende de varios factores como lo son: la potencia de la lámpara, la presión del mercurio en su interior y el nivel de refrigeración, se debe tratar que la mayor parte de la radiación que emita la lámpara sea dirigida hacia el material a curarse. Cuando algunos de los factores antes mencionados no tienen similares características en una lámpara del horno, la radiación que esta lámpara emita será menor que en las otras; por ello, se ve en la necesidad de aumentar el nivel de radiación en el resto de las lámparas en uso para compensar la radiación faltante.

Otra razón, por la que se necesite que el nivel de radiación de la lámpara deba ser ajustado, es que aún teniendo lámparas UV en el interior del horno con las mismas

características de potencia, presiones de mercurio y niveles de radiación, ésta no sea lo suficiente para el curado del material. Esta causa se da por el estado de los reflectores; porque, aunque las lámparas emitan iguales cantidades de radiación, la radiación que llegue al punto de curado para cada lámpara no sea la misma que en las otras. Si el reflector está opaco o deteriorado no tendremos buena reflexión de la radiación UV hacia un punto en específico, recordemos que del 65 al 75% de la salida UV depende del reflector. Por lo tanto, será necesario ajustar el nivel de radiación de las lámparas para conseguir el punto de curado. Si la distancia al objeto de curado no es la adecuada, la concentración de la radiación será pobre y por lo tanto, se necesitará aumentar también el nivel de radiación para obtener el curado.

Pensando en que algunas de estas situaciones se puedan presentar durante el tiempo de funcionamiento del horno, los fabricantes han establecido que las lámparas UV puedan generar de tres a más niveles de radiación distintas, generalmente estos niveles están nombrados como nivel bajo, nivel medio y nivel alto.

La radiación o energía que llega al objeto está medida por unidad de área, debido a que la energía está medida en Joules y la radiación necesaria para un curado es pequeña, ésta se mide entonces en mJ/cm^2 . La variación en el nivel de radiación que se genera para cada lámpara será controlada por varios bancos de capacitores con conexión en serie hacia la lámpara UV y gobernados por un circuito de control o mando para la habilitación de cada banco de capacitores.

El horno UV está diseñado para lograr el curado de distintos tipos de tintas, pero para lograr el curado de barnices se hace necesario otro tipo de horno UV, ya sea con lámparas UV que soporten mayores potencias, o con hornos que alberguen mayor cantidad de lámparas y con la misma potencia de las lámparas que un horno utilizado para curado de tintas, esto tiene como ventaja la utilización de un equipo eléctrico de mando y control estándar.

Analizando un horno UV estándar, en el que se busca cambiar el nivel de radiación que emite la lámpara, observamos en el circuito de la figura anterior, el conjunto de capacitores que se encuentra en serie con la lámpara. Este circuito de análisis está diseñado para que la lámpara genere una radiación tal que llega a la superficie del objeto a curarse de 30 mJ/cm² en el nivel bajo, 60 mJ/cm² en el nivel medio y 90 mJ/cm² en el nivel alto, con capacitores de 6.4µf para el nivel bajo, 2.8µf para el nivel medio y 3.4µf para el nivel alto, pudiendo seleccionar el nivel deseado con la activación de un interruptor de tres posiciones para cada nivel de radiación. Cuando el selector se encuentra en la posición BAJO, un grupo del banco de capacitores que se encuentran en conexión paralela entra en funcionamiento directo, la reactancia capacitiva de este banco será entonces:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

W = Velocidad angular, rad/seg

C = Capacitancia en faradios

f = Frecuencia en hertz

$$X_{c(\text{bajo})} = \frac{1}{(2)(\pi)(60)(6.4 \times 10^{-4})} = \boxed{414.47 \Omega}$$

Con lo que se obtendrá un circuito de corriente alterna con una resistencia equivalente de 414.47Ω.

Cuando el selector es colocado en la posición MEDIO, el contactor principal K1 se cierra agregando al banco de capacitores de 6.4µf una capacitancia de 2.8µf, por lo que ahora la capacitancia tendrá un valor de 9.2µf y la reactancia tendrá un valor de:

$$X_{c(\text{medio})} = \frac{1}{(2)(\pi)(60)(9.2 \times 10^{-6})} = \boxed{288.32 \Omega}$$

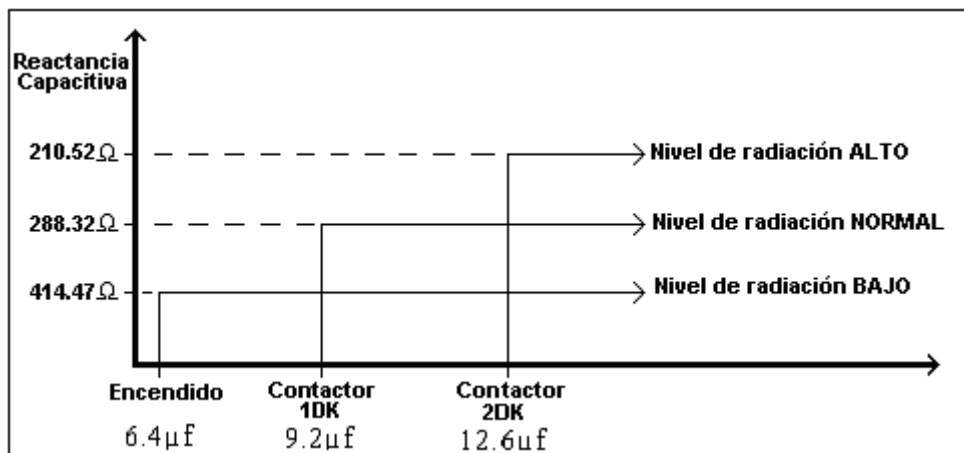
La reactancia disminuye a 288.32Ω por lo que ahora circulara una mayor corriente por la lámpara UV lo que hace aumentar el nivel de radiación emitido por la lámpara, cuando el selector es cambiado a la posición ALTO, el contactor K2 se cierra agregando al banco de capacitores otro banco de capacitores con valor de 3.4μf, por lo que la capacitancia total aumenta ahora a 12.6μf

$$X_{c(\text{alto})} = \frac{1}{(2)(\pi)(60)(12.6 \times 10^{-6})} = \boxed{210.52\Omega}$$

La reactancia disminuye todavía más, por lo que aumenta la corriente en la lámpara y con ello, la lámpara emite una radiación mayor.

Como se observa en la figura 32, a mayor capacitancia menor reactancia y por lo tanto, mayor corriente que circula por la lámpara UV, lo que implica una mayor emisión de radiación UV.

Figura 32. Gráfica de reactancia capacitiva versus niveles de radiación ultravioleta



Fuente: elaboración propia.

De esta forma, cambiando el valor de la reactancia capacitiva podremos controlar los niveles de radiación que llegan al objeto a curarse de cada lámpara. La radiación total que se obtenga en un horno UV será la suma de la radiación que emite cada lámpara. Por esta razón, un horno UV tiene la capacidad de suministrar valores precisos de radiación que sean necesarios para el curado.

Como se puede ver el nivel de radiación que emite una lámpara, depende del valor de los capacitores, si los valores de los capacitores no son los mismos para cada lámpara, la radiación que las lámparas emitan podrán ser mayores o menores que el resto de las lámparas y si no se cuenta con un equipo de medición de radiación UV cuando se seleccione alguna lámpara que no contenga valores de capacitores similares al de las otras lámparas, puede que no se obtenga el valor necesario de radiación para el curado, por el motivo anterior los bancos de capacitores de todas las lámparas UV deben ser iguales para los distintos niveles de radiación.

4.2.2.2. Elaboración de tabla para ajuste del nivel de radiación

Como se describió, la radiación que emite una lámpara UV puede ser controlada o cambiada por medio de un banco de capacitores. Analizando un horno UV utilizado para curado de barnices, y el cual consta de 7 lámparas, en el cual el barniz a curarse se encuentra impregnado únicamente en una cara del material, una de cualquiera de las siete lámparas es utilizada para curar el barniz o salpicaduras, que por casualidad se pudieran presentar en la cara del material, donde no se le es aplicado el barniz y por ello, la lámpara colocada en esa posición no contribuye al curado del material, por lo que en el horno se cuenta únicamente con 6 lámparas UV para el curado del barniz.

La radiación total que se obtenga del horno será la suma de las radiaciones individuales que emita cada lámpara UV; por ello, se puede alcanzar valores controlados de radiación. Normalmente una lámpara ofrece entre dos o más valores de radiación

distintos, tomando de ejemplo una lámpara UV, que emite tres niveles de radiación de 30, 60 y 90 mJ/cm² y teniendo en el horno seis lámparas, que ofrezcan valores similares podremos tener un mínimo de 30 mJ/cm² de radiación y un máximo de 540 mJ/cm², variando simplemente el selector del nivel de radiación.

El fabricante de los barnices y de las tintas para litografía establece que sus productos pueden ser curados con un rango aproximado de entre 350 – 400 mJ/cm². Para lograr el valor de 350 mJ/cm² de radiación; bastará con tener cuatro lámparas trabajando al máximo de su potencia o bien se puede hacer funcionar seis lámparas trabajando a una potencia media del cual se obtiene 360 mJ/cm² de radiación, lo que es recomendable hacer, porque esto no forzaría las lámparas a trabajar al máximo de su potencia. Cuando las condiciones de operación y funcionamiento de las lámparas son las adecuadas es posible obtener valores similares en cada una de estas.

Tener claro que cada lámpara emite valores de radiación iguales para cada nivel (bajo, medio, alto) y que la radiación total, que emite el horno UV de siete lámparas es la suma de cada una de las seis lámparas, se puede realizar una serie de combinaciones entre los distintos niveles de radiación para obtener cualquier valor que necesitemos. Como se indico en el capítulo uno, la lámpara número uno es utilizada para el curado de rebaba o salpicaduras en la parte posterior del objeto, por lo que no contribuye al curado.

En la tabla II se puede observar las posibles combinaciones de encendido de la lámpara.

Tabla II. Niveles de radiación UV

Cada X representa el encendido de la lámpara en un nivel de potencia																						
Lampara 1			Lampara 2			Lampara 3			Lampara 4			Lampara 5			Lampara 6			Lampara 7			Radiación mJ/cm ²	
bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto		
Lampara para curado de rebaba		X			X			X			X			X			X				300	
		X			X			X			X			X			X		X		330	
		X			X			X			X			X			X			X	360	
			X		X			X			X			X			X		X		360	
			X			X			X			X			X			X		X		390
			X			X				X			X			X			X		X	420
			X			X				X			X			X			X		X	480
			X			X				X			X			X			X		X	510
			X			X				X			X			X			X		X	540

Fuente: elaboración propia.

4.2.2.3. Ventaja de uso de tabla para ajuste de nivel de radiación

- Ahorro de tiempo, pues se evitaría estar pasando una y otra vez el radiómetro para alcanzar cierto nivel de radiación.
- Economía de energía, porque no se extraía utilizando radiación innecesaria durante el curado.
- Prolongación de la vida útil de las lámparas, porque se buscaría evitar colocar las lámparas a su máxima intensidad.
- Continuidad de los procesos de producción al quemarse una lámpara, porque al tener otras combinaciones de los niveles de radiación en las otras lámparas, se puede alcanzar el nivel deseado sin ser necesario el reemplazo de la misma en ese instante.

Por cualquiera de las razones anteriores, la utilización de una tabla de niveles de radiación será una guía adecuada que ayude al correcto desempeño en la operación del horno UV durante el proceso de curado.

4.3. Fallos mecánicos en el horno UV

El problema de mayor relevancia mecánico en el horno UV es que en ocasiones no se realiza la correcta apertura de las cortinas de cualquiera de las lámparas provocando daño a las mismas, el ajuste de nivel de enfriamiento no es el adecuado siendo este ajuste de temperatura más alto o bajo de lo recomendado por el fabricante y las fugas en la cabina del horno UV.

4.3.1. Fallo de apertura de cortinas de lámparas

Aunque no es común que por falla mecánica no se realice la correcta apertura de la cortina de la lámpara sucede que cuando esto ocurre la lámpara tiende a sobrecalentarse a tal punto que existe fractura de la misma en sus casquillos. La función de las cortinas del horno es la protección de la lámpara cuando no se encuentra en funcionamiento evitando de esta forma que el ambiente afecte el tubo de la lámpara.

Normalmente sucede esto porque el ambiente está más alto de lo recomendado por el fabricante haciendo que los elementos de apertura de cortina tiendan a estar secos dificultando su movimiento.

4.3.1.1. Solución a falla de apertura de cortina

La solución de este problema consta de dos partes, siendo la primera la utilización de un lubricante que evite que las piezas en movimiento se atoren, y el segundo es el ajuste correcto del nivel de enfriamiento de la lámpara.

4.3.1.2. Propuesta

El tipo de lubricante que se utiliza es la grasa, solamente que esta grasa debe de ser del tipo que soporte temperaturas entre los rangos de los 250 a 300 °C. Esta grasa puede ser de tipo multipropósito con un rango de operación de temperatura que cumpla con lo indicado anteriormente.

4.4. Falla en nivel de enfriamiento

Cuando se demanda mayor potencia de las lámparas éstas generan más radiación infrarroja lo que produce un mayor grado de calentamiento lo que hace actualmente que la lámpara se sobrecaliente y se quiebre.

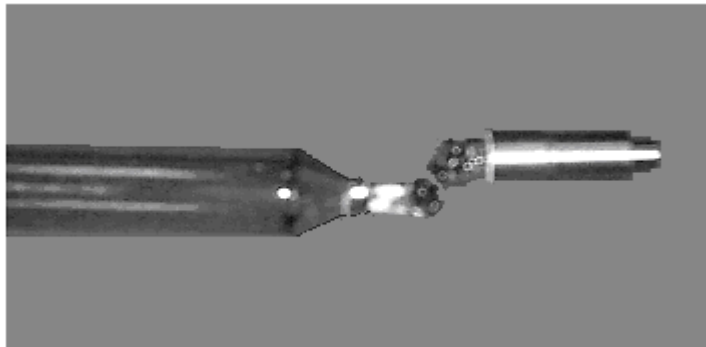
4.4.1. Solución a falla de nivel de enfriamiento

La solución a este problema a es simple y se debe mejorar el sistema de enfriamiento actual que está basado en una torre de enfriamiento en el cual no tenemos control directo de la temperatura del agua de enfriamiento ya que dependemos también del factor externo como lo es el ambiente. Como se mencionó en el capítulo número dos, la refrigeración o sistema de enfriamiento de las lámparas se realiza por ventilación forzada o recirculación de agua fría; cualquiera de los dos métodos es efectivo, dependiendo de la potencia generada por las lámparas y la cantidad de lámparas que contenga el horno.

El sistema de enfriamiento debe ser el adecuado por dos razones importantes, siendo la primera razón la que nos causa daños mayores y es que si tenemos un enfriamiento pobre; los casquillos o bases de la lámpara tienden a sobrecalentarse y la cerámica, que es el material que se utiliza para la unión entre la base de la lámpara con

el cuarzo o vidrio del cual está hecha la lámpara se desgasta, pierde su resistencia y termina por quebrarse fácilmente en esos extremos como puede verse en la figura 33.

Figura 33. **Fotografía de lámpara UV quebrada en uno de sus extremos**



Fuente: registro de mantenimiento Grupo Zapata Guatemala, abril de 2002.

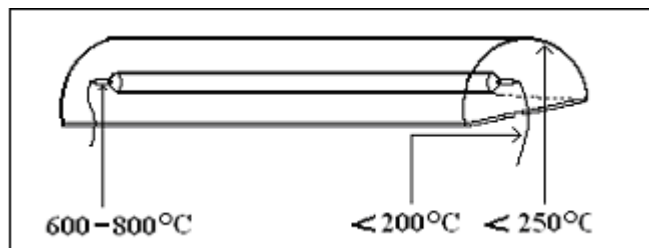
La otra razón para poseer un sistema de enfriamiento adecuado para las lámparas es que si el enfriamiento es excesivo, el mercurio que se encuentra en el interior de la lámpara le toma más tiempo en volverse gas, esto hace que se tarde más tiempo en el encendido y con ello, ocasiona tiempo perdido. Otras causas del enfriamiento excesivo son: niveles de radiación emitidos por la lámpara menor al que está capacitado para suministrar, condensación del mercurio detrás de los electrodos y goteo o área mojada en el interior del horno (para refrigeración con circulación de agua) que es producto del vapor frío, que se forma por esta circulación de agua a bajas temperaturas.

Todo lo anterior, implica niveles de radiación no adecuados que se verá reflejado en un curado pobre, una condensación de mercurio detrás de los electrodos crea la fusión de la lámpara en los extremos y la fisura de las mismas, lo que representa la destrucción de la lámpara y su reemplazo constantemente. El goteo o área mojada en el interior del horno produce riesgos de cortocircuito o arco eléctrico, debido a los potenciales altos de trabajo de cada lámpara; el goteo o área mojada también, puede

dañar el producto creándole humedad excesiva u oxidación, que trae como consecuencia la destrucción acelerada del material a curarse o material curado que no pasará los controles de calidad.

Por lo antes mencionado, el sistema de enfriamiento debe estar balanceado para no producir refrigeración en exceso ni escasez de la misma. Para lograr esto, se basa en las especificaciones de la lámpara que utiliza nuestro horno UV que, en este caso, son lámparas para curado de tintas y barnices; estas especificaciones para la refrigeración adecuada son las temperaturas de operación entre los extremos de los electrodos de la lámpara, que deberá mantenerse a una temperatura de funcionamiento de 6000-800 °C. La zona que hay entre la lámina del reflector y la lámpara deberá mantenerse a una temperatura de menos de 250 °C. Si la lámpara posee un cable de salida eléctrico, éste debe mantenerse a una temperatura inferior a 200 °C. En la figura 34 se observa la temperatura que tiene la lámpara en distintos puntos de su cuerpo.

Figura 34. **Temperaturas de operación normales de la lámpara ultravioleta**



Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Propuesta para el mejoramiento del sistema de enfriamiento

La propuesta es implementar un sistema de enfriamiento con control de temperatura que mantenga las lámparas a temperatura promedio indicado por el

fabricante como lo es el chiller. No se tratará con detalle el sistema de chiller porque el equipo correcto a utilizarse depende de la cantidad de lámparas de cada horno, del flujo necesario para el enfriamiento y del rango de temperatura que necesitamos controlar.

4.5. Falla en reflectores

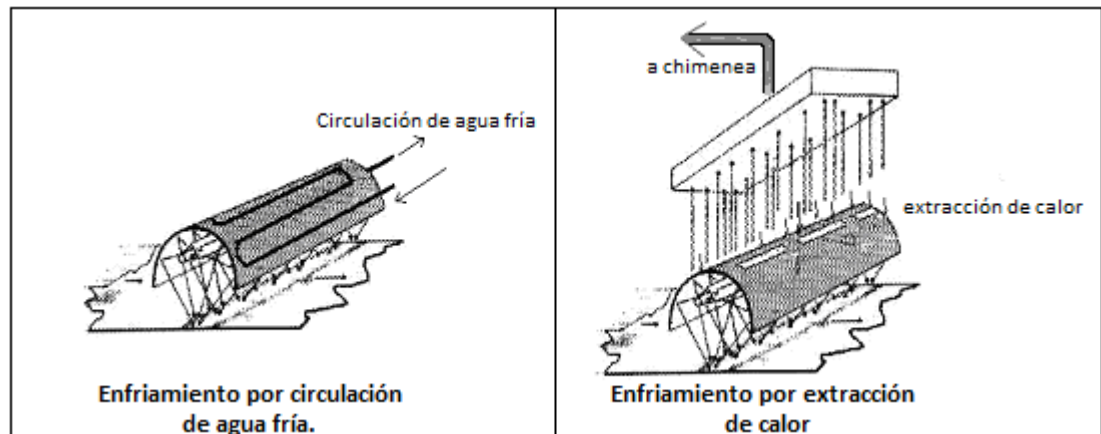
Como se menciona en el capítulo anterior, el reflector es otro elemento importante en el desempeño de curado por radiación UV, su importancia se basa en que este elemento dirige o concentra toda la energía UV en un sólo punto del objeto a curarse y absorbe la radiación infrarroja que la lámpara produce. Por lo que se menciona, los reflectores deben tener dos características importantes que son: la reflexión y la absorción.

La reflexión sirve para dirigir aproximadamente el 75% de la salida UV de la lámpara a un punto en específico, el otro 25% se desperdicia en los rayos UV, que se reflejan a 90° de la horizontal de la lámpara o en ángulos donde no hacen contacto con el reflector.

La absorción, otra característica del reflector, basa su importancia en que debe conducir toda la radiación infrarroja hacia el exterior de la lámpara, para después ser disipada por métodos de refrigeración o aire forzado. Si no existiese un reflector con estas características, el nivel de temperaturas aumentaría al punto de fusión de la lámpara en cuestión de minutos.

Los materiales de los que están hechos los reflectores son celosamente guardados por los fabricantes; pues, constantemente, se realizan mejoras en cuanto a la reflexión de UV y absorción de IR. Por ello, existen dos tipos principales de reflectores utilizados en curado de tintas UV que serían utilizados, según la forma de disipación de la radiación infrarroja como se puede observar en la figura 35.

Figura 35. Tipos de reflectores



Fuente: elaboración propia.

- El tipo número uno, es un reflector parabólico de forma continua como se ve en la figura “A” y que se utiliza con un tipo de refrigeración, por medio de circulación de agua fría pegado al reflector en un sistema cerrado (Chiller). Este flujo de agua fría es circulado por todo el contorno del reflector, para la disipación del calor producto de la radiación infrarroja que produce la lámpara UV.
- El tipo número dos, es un reflector que también, es parabólico de forma continua, pero posee unas muescas o agujeros por los cuales se extrae el calor generado por la lámpara UV, como se observa en la figura “B”, estos agujeros se encuentran ubicados a 90° con respecto a la horizontal. Este tipo de reflector es utilizado para sistemas de refrigeración de lámparas por medio de aire forzado y cabe hacer notar que la radiación UV, que coincide con los agujeros ubicados a este ángulo no contribuyen al curado tanto en un reflector del tipo número uno, como del número dos.

De lo escrito anteriormente, el reflector adecuado a utilizarse dependerá del tipo de sistema de enfriamiento que posea nuestro horno UV, ya sea enfriamiento por circulación de agua fría (chiller) o aire forzado.

4.5.1. Situación actual

Otro de los problemas que contribuye a que se tenga que someter a la lámpara a trabajar con sus niveles máximos de radiación se debe a la poca importancia que se le da al cuidado de los reflectores, lo cual se demuestra en la existencia de varios de estos reflectores que se encuentran opacos y golpeados, haciendo que la reflexión de la luz UV no se concentre en el objeto a curarse haciéndose necesario aumentar la potencia de la lámpara provocando calentamiento excesivo en los casquillos al punto de quebrarse la lámpara en estos puntos.

4.5.2. Solución

La solución a este problema es crear el plan de mantenimiento de reflectores que consiste en limpieza, revisión del sistema de enfriamiento y reemplazo de reflectores opacos.

4.5.3. Propuesta

Para la limpieza de los reflectores este se debe limpiar cuidadosamente con paño húmedo preferiblemente de alcohol etílico con alto grado de pureza para evitar la humedad en el material reflectivo, secándose el exceso de alcohol casi inmediatamente después de aplicarse. La frecuencia con la que se debe aplicar la limpieza de los reflectores dependerá del ambiente en el cual estos se encuentren que normalmente varía entre dos semanas a un mes de producción. Cabe considerar que para realizar la

limpieza de los reflectores se debe quitar la lámpara y guardar cuidadosamente en un lugar seguro, por lo que la limpieza del reflector debe hacerlo personal capacitado.

4.6. Seguridad en la cabina del horno UV

Otra parte importante en cuanto a las mejoras del horno UV lo hará tener un correcto funcionamiento y un equipo seguro para el personal operativo por lo que en adelante trataremos las distintas situaciones que pueden presentarse en el funcionamiento del horno que puedan afectar al operador y al mismo equipo.

4.6.1. Control de fugas en la cabina del horno

En el horno UV para curado de tintas litográficas se generan varios tipos de longitud de onda por medio de las lámparas UV, las que producen emisiones de luz en el espectro ultravioleta, espectro visible y el espectro infrarrojo, la emisión o radiación de luz UV crea la ionización en el ambiente aumentando el número de iones positivos y produciendo el ozono que es un gas que causa algunos daños en la salud de las personas. Cuando de fugas se habla, se refiere al escape, que puede existir de radiación infrarroja, radiación UV, radiación visible, y gas ozono.

4.6.1.1. Fuga de radiación infrarroja

La radiación infrarroja es un tipo de longitud de onda que producen las lámparas de mercurio, pero que para un curado de tintas por radiación UV no son necesarias y por lo tanto son consideradas como pérdida de energía. Para evitar que este tipo de energía dañe el material a curarse o que pueda existir fuga de calor se le puede colocar un filtro a las lámparas UV.

Este filtro tiene la capacidad de dejar pasar únicamente, la radiación UV y reflejar la radiación infrarroja hacia direcciones en el interior del horno donde este tipo de radiación es disipado por métodos de enfriamiento por aire forzado.

La ventaja que ofrece el filtro es el poder curar el material a temperatura ambiente que es mas fácil de manipular por el personal operativo, por el contrario la desventaja de este tipo de filtro es su alto costo por lo que en la mayoría de casos se realiza el curado sin estos.

4.6.1.2. Fuga de luz visible

Se observa fácilmente cuando existe algún tipo de fuga en la cabina del horno, ya que como su nombre lo indica es visible al ojo humano. Este tipo de radiación normalmente es el que presenta el mayor riesgo cuando existe una fuga porque puede causar daños en la vista. El riesgo se hace mayor en este tipo de radiación pues cuando las lámparas UV están activas el interior completo del horno se ve bastante iluminado por una luz blanca intensa que se escapa por cualquier abertura que el horno tenga, incluso la luz blanca sale sin control por la abertura de entrada del material a curarse; así como también una parte de esta luz escapa por la salida del horno, por esta razón, el operador del horno UV debe poseer lentes industriales reflectores de rayos UV para protección de sus ojos.

4.6.1.3. Fuga de gas ozono

El ozono es un gas no tóxico a las personas en pocas cantidades, que puede provocar algunos dolores de cabeza severos, irritaciones de ojos, este gas es creado por la ionización del aire cuando se cura tinta por métodos de radiación UV y generalmente se mantiene en el interior del horno. Para evitar que este gas escape del interior del horno UV hacia los operadores, el gas generalmente es extraído con ventilación forzada

por medio de chimeneas hacia el ambiente exterior de la planta. Así como el ozono, la radiación UV, la radiación infrarroja y la radiación visible todas deben permanecer en el interior del horno UV y deben ser extraídas de ser necesario por métodos automáticos sin someter a riesgo la salud de los operadores y del equipo de mantenimiento; por tal razón, se debe establecer como norma los chequeos que se indicaran mas adelante para control de estos posibles problemas.

4.6.2. Situación actual

En ocasiones los operadores del horno se quejan de dolores de cabeza e incluso mareos, que pueden ser los síntomas de una intoxicación proveniente de alguna fuga de radiación UV en la cabina del horno, esto no es común porque el horno UV para curado de tintas se cierra de tal forma que no permite fugas debido a que posee empaques y sellos de hule de alta temperatura que impide la salida de radiación; además, por la ubicación de las lámparas toda la radiación UV es concentrada en un sólo punto en el interior del horno, el remoto caso de fuga de radiación UV, se daría si el reflector de la lámpara estuviese dañado o no presentara una superficie uniforme tal, que permita la reflexión de la luz UV en una dirección, en la cual el empaque de sellado del horno esté dañado y esto provoque que la radiación pueda salirse del interior del horno.

4.6.3. Propuesta

Para llevar un control preventivo ante las posibles fugas descritas anteriormente, se puede seguir un plan de acción como se indica a continuación:

- Revisar todo el aspecto físico de la cabina del horno UV. Éste debe estar libre de fisuras, oxidaciones o cualquier clase de golpe.

- Revisar que el horno quede completamente sellado por los extremos móviles que se utilizan para levantar la cabina durante los mantenimientos en su interior. Aquí se debe chequear que los empaques del horno tengan una consistencia pareja y constante en todo el contorno de la cabina, se debe observar también las condiciones del empaque, maniobrabilidad y consistencia (dureza).
- Para chequeo de fuga de radiación UV en el contorno del horno, se debe utilizar primeramente el equipo de protección personal, guantes y lentes de protección industrial anti-UV. Se activan las lámparas UV y se coloca un poco de barniz UV sobre alguna placa, esta placa se hace pasar por el contorno de la cabina del horno o por los lugares donde se crea que puede existir fuga, si existe algún tipo de fuga, el barniz UV se cristalizará levemente, de no existir fuga el barniz permanecerá de igual forma, se debe tener presente que se debe utilizar barniz y no tinta pues el barniz reacciona con mayor rapidez a la radiación UV. No se debe utilizar el radiómetro para medir este tipo de fuga pues el radiómetro basa sus lecturas en exposiciones directas.
- Chequeo de fuga de luz visible, se debe utilizar guantes y lentes anti-UV como equipo de protección personal y chequear cuidadosamente, los lugares en el exterior de la cabina del horno donde se pueda observar algún tipo de luz proveniente del interior del horno. Se debe tener el cuidado de no observar directamente la luz visible proveniente de las lámparas, aún si se está utilizando lentes anti-UV.
- Chequeo de radiación infrarroja, observar que la temperatura en el contorno exterior del horno no exceda más de la temperatura ambiente. Revisar los sistemas de enfriamiento de las lámparas y chequear por medio de sensores infrarrojos la temperatura de operación de las lámparas UV.

- Control de fugas de ozono: se debe revisar el sistema de circulación de aire en el interior del horno, energizando los motores cuando el horno este en mantenimiento y observar que exista una correcta circulación de aire desde la chimenea que inyecta aire hasta la chimenea que se encarga de distribuir el aire al ambiente.
- Chequear filtros de entrada de aire que se encuentran ubicados en la parte interna de la chimenea del horno, estos deben limpiarse con la frecuencia que demanda el ambiente donde se encuentra la cabina del horno.
- Revisar estado físico de chimeneas de entrada y salida, estos deben estar limpios, sin ningún tipo de oxidación y sin grietas.

5. EFICIENCIA Y SEGURIDAD DEL HORNO UV

El objeto del presente capítulo es detallar el procedimiento a realizar para prevenir el mal funcionamiento del equipo eléctrico y mecánico del horno ultravioleta, esto con el fin de reducir el tiempo perdido por fallo de cualquier componente en proceso de producción, ya que como se indicará más adelante, la eficiencia la trataremos únicamente con base a la reducción de estos tiempos perdidos, debido a que actualmente los paros por mal funcionamiento en el equipo del horno se contabilizan como la mayor razón para la obtención de bajos rendimientos de producción en función del tiempo.

Mejorar la eficiencia implica conocer el tipo de mantenimiento que debe realizarse al horno, cuando debe realizarse y quienes son los involucrados directos en ejecutarlos; todo esto, porque actualmente no sólo el personal de mantenimiento es el encargado de realizar esta tarea; actualmente, el personal operativo tiene la responsabilidad de realizar mantenimientos menores a los equipos.

En cuanto al tema de seguridad, en este capítulo se abordará la seguridad para el horno ultravioleta y para personal operativo y de mantenimiento; por esta razón indicaremos la forma correcta de aplicar el mantenimiento apropiado al horno, siendo este el mantenimiento preventivo y predictivo, en el que se observará que la labor del departamento de mantenimiento también, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador, ya que mantenimiento tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones la maquinaria, la herramienta y el equipo de trabajo, lo que permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando riesgos para el personal y maquinaria.

En este capítulo, se indicará la forma correcta de realizar el mantenimiento con un programa de control de funcionamiento del equipo de una forma periódica; además, se mencionará la correcta forma de realizar el reemplazo de lámparas UV y finalmente analizaremos el impacto del ozono en la salud y seguridad del personal de operación y de la maquinaria.

5.1. Eficiencia

La palabra eficiencia tiene su origen en el término latino *efficientia* y refiere a la capacidad de disponer de algo o de alguien para conseguir un efecto predeterminado. El concepto también suele ser equiparado con el de acción, fuerza o producción.

En otras palabras, la eficiencia es el uso racional de los medios con los que se cuenta para alcanzar un objetivo predeterminado. Se trata de la capacidad de alcanzar los objetivos y metas programadas con el mínimo de recursos disponibles y tiempo, logrando de esta forma su optimización.

Como se explica en el concepto de eficiencia, ésta involucra un funcionamiento óptimo de los equipos, control reducido o a cero de la merma de operación y el aprovechamiento total del tiempo de operación.

El campo de estudio estará enmarcado solamente a la eficiencia de la línea de producción del horno UV, esto implica que se tratara únicamente la eficiencia en función del tiempo perdido a consecuencia del fallo de los componentes del horno en proceso de producción.

Como primer punto, se menciona la eficiencia del horno basándose en el tiempo de operación de la máquina; esto implica, que este estudio se dedicará a establecer la mayor cantidad de tiempo perdido, como consecuencia del funcionamiento incorrecto

del horno, para establecer de esta forma, el mantenimiento preventivo óptimo, que es lo que se indica en el capítulo tres.

Entre lo escrito anteriormente, se mencionó el reemplazo de la lámpara por daño a la misma, esto por ser una de las causas más sensibles de paro del equipo, el mal funcionamiento de la lámpara implica la baja potencia en el nivel de radiación ultravioleta que repercute en un mal curado de la tinta.

La eficiencia de la línea será representada simplemente, como tiempo de producción menos tiempo perdido todo esto dividido por tiempo de producción multiplicado por ciento por ciento como se ve en la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{t producción} - \text{t perdido} \times 100\%}{\text{t producción}}$$

Como se puede apreciar en la fórmula, la eficiencia del horno UV lo determina el tiempo perdido en el proceso; es decir, cualquier fallo en el equipo será determinado por el tiempo que tardó en repararse y esto a su vez, hará que nuestra eficiencia disminuya de acuerdo al tiempo perdido; como se observa en la gráfica del apéndice número uno, una de las causas de mayor tiempo de paro en la producción en la línea de litografía por curado de tintas a base de luz UV se debe a fallos en el funcionamiento del horno, en el apéndice dos se observó que los fallos mas comunes en el horno son los que ya se indicaron en el capítulo cuatro y que sumados corresponden a un 30% de los paros de producción de la línea de litografía UV superados únicamente por los ajustes de color en el cuadro de impresión de la litografía por parte de los operadores que tiene el 35% de los tiempos perdidos, por lo anterior al reducir los fallos en el horno UV reduciremos también los tiempos perdidos lo que hará que alcancemos una eficiencia mayor en la operación del horno y en la línea de litografía UV.

5.2. Mantenimiento general de equipos

Es importante mencionar que el mantenimiento adecuado del equipo trae como consecuencia, lo siguiente:

- Optimización del tiempo de producción
- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo
- Maximización de la vida útil de la maquinaria
- Calidad de producto terminado
- Optimización del recurso humano
- Disminución de los costos de mantenimiento

Es importante hacer un análisis de lo escrito con anterioridad, porque muchas veces se menciona el mantenimiento como una sola palabra que indica reparar lo dañado o prevenir que se dañe, pero el concepto actualmente, conlleva más responsabilidades como se indicara.

El mantenimiento optimiza el tiempo de producción, esto es relevante en cualquier proceso de producción pues garantiza el correcto funcionamiento del equipo desde el arranque hasta el final de la producción estableciéndose que la máquina no se detendrá por desperfectos en si misma y hará una eficiencia de producción alta. En este proceso de curado de tintas por medio del horno UV la mejora en la eficiencia se obtendrá al aplicar el plan de acción descrito en el capítulo cuatro para cada uno de los principales inconvenientes en el funcionamiento actual del horno, con esto se logrará disminuir el

30% actual de los paros de la línea de litografía, lo que a su vez reflejará una mejora en la eficiencia en el tiempo de producción.

El mantenimiento optimiza la disponibilidad del equipo productivo, esto se hace notorio cuando son varias líneas de producción y existe variedad de productos o presentaciones a producirse, en el proceso productivo el cliente indica qué productos desea; por esta razón, en ocasiones se utiliza determinada máquina o línea de producción. La maquinaria con mantenimiento adecuado garantiza la disponibilidad de línea y asegura el funcionamiento de tal forma que se pueda cumplir el compromiso de producción establecido.

En el proceso de producción de curado de tintas UV los problemas en el horno descritos en el capítulo tres, en ocasiones han llevado a la determinación de producir en un horno por secado de tintas u horno convencional a partir de quemadores por necesitar satisfacer la demanda de producto, lo anterior implica el consumo de combustible para el secado, mayor cantidad de personal operativo para este tipo de proceso y una producción lenta o menos eficiente debido al funcionamiento normal del horno convencional. Las propuestas de mejora como lo es el ajuste correcto de la altura de las lámparas, la limpieza de reflectores, ajustes correctos de los niveles de radiación indicados en el anterior capítulo ayudaran a mantener el horno en disposición de producción en el tiempo en que sea requerido.

El mantenimiento maximiza la vida útil de la máquina, cuando el equipo funciona en condiciones no adecuadas, hace que el resto de los elementos del equipo se sobrecarguen en funcionamiento; esto quiere decir, por ejemplo, si un rodamiento necesita ser reemplazado por desgaste y no se reemplaza implica que la fricción de dicho rodamiento aumenta, el motor o elemento mecánico que debe realizar tal trabajo de mover este rodamiento también aumenta, por consideración, la energía necesaria para el funcionamiento del rodamiento aumenta y esto conlleva a que todas las tareas también

se sobrecarguen, reduciendo de esta forma el tiempo de vida en general de la máquina, el impacto en las recomendaciones del capítulo anterior se hacen evidente con el siguiente ejemplo: la vida útil de la lámpara según el fabricante es de aproximadamente 1200 horas en condiciones normales de operación, cada vez que se enciende una lámpara el fabricante estima entre cuatro y ocho horas de operación, un tornillo flojo en la base de la lámpara puede ocasionar falso contacto equivalente a encender y apagar la lámpara en varias ocasiones lo que reduce su tiempo de vida en el cual el mantenimiento preventivo del horno que implica la limpieza del tubo de la lámpara, la revisión de sus casquillos y el apriete de su tornillería evitará este tipo de falla.

El mantenimiento mejora la calidad de producto terminado, cuando se realiza un mantenimiento adecuado, los ajustes mecánicos o eléctricos necesarios para cumplir con ciertos estándares de calidad de producto terminado se realizan de forma más breve y sencilla, esto porque no se invierte tiempo en reemplazo de componentes dañados, tampoco se invierte tiempo lidiando con objetos de funcionamiento inadecuado.

Entre lo mencionado en el capítulo cuatro está el diseño de la tabla para ajuste del nivel de radiación el cual tiene como objeto apoyar el mantenimiento preventivo y también asegurar un curado correcto con el número adecuado de lámparas lo que implica un producto de buena calidad, con los valores de esta tabla será necesario colocar los niveles de intensidades de cada una de las lámparas a analizar y hacer pasar el radiómetro a través de la luz UV para tomar la lectura de la radiación emitida, la lectura del radiómetro se compara con la de la tabla y se analiza la posible disminución de la radiación en alguna de las lámparas, con esto lograremos de forma efectiva conocer el grado de deterioro de cada lámpara y no tener problemas con un curado de mala calidad en el que la tinta o barniz curado en la lámina se vaya a desprender manteniendo siempre la calidad en la producción.

El mantenimiento optimiza el trabajo del recurso humano, esto es importante indicarlo porque dependiendo del tipo de mantenimiento que se realiza, el responsable de mantenimiento se encarga de establecer el tiempo promedio necesario para realizar dichas tareas, la frecuencia y el recurso humano necesario, cabe recordar que a pesar de que el mantenimiento tiene un costo en cuanto a tiempo y material de reemplazo, el recurso humano también tiene su costo por lo que los períodos en los que se debe realizar deben estar correctamente espaciados. En el anterior capítulo se establecieron varias propuestas de mejora, el tiempo establecido para realizar estas propuestas dependerá solamente de la cantidad de lámparas que contenga el horno.

El mantenimiento establece de una forma ordenada y periódica cuánto personal es necesario para realizar dicha tarea; implica también que la maquinaria funcione correctamente y el personal se dedique únicamente a sus funciones establecidas, sin necesidad de intervenir constantemente en la maquinaria para que cumpla con el proceso productivo.

Lo anterior se hace evidente cuando en ocasiones el personal operativo hace ajustes o correcciones en su nivel de curado durante la producción por desconocer que lámparas se encuentran en condiciones óptimas o que lámparas se encuentran curvas debido a calentamiento por funcionamiento normal, al aplicar correctamente el mantenimiento preventivo que consiste en la revisión física, apriete de tornillos, limpieza y reemplazo de elementos defectuosos como cables sobrecalentados, difusores opacos, elementos móviles o dañados de cada lámpara se conseguirá que el operador se concentre en otras funciones propias de la línea mejorando la calidad del producto y reduciendo la merma de producción.

El mantenimiento adecuado reduce el costo global en el funcionamiento del equipo, esto se debe a que el mantenimiento planificado es menos costoso que el mantenimiento aplicado cuando el equipo se encuentra en proceso de producción,

porque aparte de los elementos de reemplazo del equipo; también, se toma en cuenta el tiempo invertido en el proceso que muchas veces es más importante, debido a los compromisos de producción adquiridos. Las mejoras propuestas en el capítulo anterior tienen como finalidad realizar el mantenimiento de forma periódica o planificada evitando realizarse en tiempos de producción.

Uno de los objetivos del mantenimiento preventivo consiste en rebajar el correctivo a cero o hasta el nivel óptimo de rentabilidad para la empresa debido a que el correctivo no se puede eliminar en su totalidad, una administración del mantenimiento de forma correcta extraerá conclusiones de cada fallo en producción e intentará realizar la reparación de manera definitiva ya sea en el mismo momento o programando un paro en el proceso para corrección de esa falla y sobretodo que no se repita que es el objetivo a conseguir.

El mantenimiento efectivo de la maquinaria representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario a quien esta inversión se le revertirá en mejoras en su producción, sino también el ahorro que representa tener trabajadores sanos e índices de accidentes bajos. Este es uno de los objetivos que se buscan conseguir al implementar el tiempo correcto de exposición UV para el curado de tintas, el curado como se indicó en el capítulo anterior no depende del tiempo de exposición sino que depende únicamente de la radiación UV, como la lámpara también genera radiación infrarroja un tiempo prolongado implica un sobrecalentamiento del material a curarse por lo que implica también un desgaste del sistema de transporte y un arqueo en las lámparas, el mantenimiento se debe realizar ajustando el tiempo de exposición al mínimo que a su vez dependerá de la velocidad de línea y para el arqueo de las lámparas un giro de 180° cada vez que se observe una deformación en el tubo de la lámpara.

El mantenimiento representa una herramienta importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes es causado por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. También, el mantener las áreas y ambientes de trabajo con adecuado orden, limpieza e iluminación es parte del mantenimiento preventivo de los sitios de trabajo.

5.2.1. Mantenimiento a horno UV

El mantenimiento aplicado al horno UV es similar al de otro tipo de maquinaria de producción en el que el objetivo es tratar de reducir a cero los paros en producción por desperfectos en el mismo, este capítulo estará enfocado al mantenimiento preventivo y predictivo directamente para hornos de curado de tintas por medio de radiación ultravioleta. El mantenimiento que se aplicara a este equipo es el preventivo y el predictivo del cual mencionaremos seguidamente:

5.2.1.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados.

En el horno UV el mantenimiento preventivo que consiste en la inspección, limpieza y reemplazo de componentes deteriorados tiene su mayor importancia en evitar la rotura de las lámparas cuando éstas se encuentren en funcionamiento, evitar fugas de ozono en la cabina, verificar la correcta operación de los elementos de seguridad como los microswitch de prevención de levantamiento del horno con lámparas encendidas y el desgaste de elementos móviles, todo esto para lograr un proceso seguro y eficiente para el personal operativo y equipo.

En el horno de curado de tintas UV el mantenimiento preventivo estará aplicado a lo siguiente:

- Limpieza y reemplazo de lámparas ultravioleta según su tiempo de horas vida

Para el mantenimiento preventivo de lámparas UV, el fabricante ofrece un tiempo aproximado de 1200 horas de vida para cada lámpara de forma continua sin considerar el desgaste de la lámpara por encendidos variables. Esto, además, depende del tipo de horno para el cual está diseñado; pero, en promedio, éste es un tiempo estimado para el cual la lámpara debe reemplazarse, para evitar que se deteriore o descomponga en procesos de producción. El fabricante recomienda también, según el tiempo de mantenimiento, girar las lámparas 180° cada 200 horas de uso; esto, con el fin de compensar la deformación que presentan las lámparas debido a las altas temperaturas que generan las mismas lámparas.

Esta limpieza de cada lámpara se debe efectuar primero asegurando el área de forma que se encuentre libre de cualquier servicio del horno como la energía eléctrica, aire comprimido, y sistema de agua de enfriamiento, seguidamente la persona que realiza el mantenimiento debe colocarse guantes limpios después se procede a ubicar la lámpara a limpiar y continuar haciendo una revisión ocular de la lámpara desde los cables de conexión de uno de los extremos siguiendo por el electrodo o casquillo y el cuerpo o tubo de la lámpara hasta llegar al extremo opuesto, esto se debe realizar con el propósito de encontrar elementos que puedan afectar el funcionamiento de la lámpara como fugas de agua, deterioro en el casquillo y sobrecalentamiento de los alambres, después de haber hecho esta revisión se continua desconectando los cables eléctricos de la lámpara y se desmonta de la base, seguidamente se coloca en un lugar seco y con un paño limpio y alcohol se procede a limpiar la lámpara teniendo solamente como especial cuidado de no hacer contacto directo la piel con la lámpara ya que esto ocasiona que se

le impregne grasa de la piel a la lámpara haciéndola más vulnerable a la radiación en ese punto deteriorándola rápidamente.

- Limpieza general de reflectores de lámparas UV

Para la limpieza de los reflectores de las lámparas es importante que ésta se realice periódicamente. El fabricante no establece un tiempo promedio, esto dependerá de las condiciones del ambiente en la cual opere el equipo; sin embargo, éste se debe realizar con el cuidado de no rasgar o dañar el esmalte reflectivo que éstas poseen; por lo cual, es recomendable realizar esta tarea con aire comprimido a una baja presión de cinco libras por pulgada cuadrada asegurándose únicamente que el aire a utilizarse esté totalmente limpio y de ser necesario limpiar con tela seca. Recordemos que la radiación UV es dirigida en todas las direcciones alrededor de la lámpara y guiadas a un punto en específico, a través de los reflectores, de esto proviene la importancia de que estén libres de cualquier impureza o deformación, que pueda enviar los rayos UV a otras direcciones que no sea el punto de curado.

- Revisión general de motorreductores según tiempo de horas uso

En la revisión de motorreductores se incluye en la parte del motor las pruebas eléctricas de los aislamientos, primero se comprueba el valor de la resistencia de cada una de las bobinas, estas deben tener un valor similar entre cada una de ellas, seguidamente se realiza la prueba de rigidez dieléctrica tomando lecturas con el megger de la resistencia entre bobinas a tierra en el cual entre mayor sea la lectura de la resistencia el motor presentara mejores características de aislamiento, se debe observar también en la parte del motor los elementos móviles que son los cojinetes y reemplazarlos según su tiempo de uso o reemplazarlos cada seis meses, observar los posibles desgastes de las cunas de los cojinetes, revisar que no estén dañados los espaciadores entre los cojinetes y la carcaza del motor, finalmente revisar el estado del

eje del rotor que no presente daño físico. En cuanto al mantenimiento de la parte de la caja reductora, se debe observar el estado del aceite de la caja que no presente indicios de rebaba de metal, se debe observar el estado físico de los elementos móviles como los engranes, tornillos sin fin y cojinetes, se deben reemplazar los elementos retenedores de aceite en ejes y empaques, finalmente se debe cambiar el aceite de la caja dejándolo al nivel que corresponde y verificar su correcto funcionamiento acoplándolo al motor. Debido a que no existe por parte del fabricante un tiempo definido para realizar el mantenimiento de los motores, se recomienda por uso hacerlo dos veces al año

- Plan de lubricación de componentes móviles según datos de fabricante

Debido a que la función del lubricante es crear una película protectora que evita el contacto directo entre metales, se debe seguir en el plan de lubricación de la forma que se muestra enseguida.

Lubricación con grasa; engranes y chumaceras de apertura de cortinas de lámparas se debe lubricar con grasa de alta temperatura con una frecuencia aproximada de cada dos meses de funcionamiento, engranes de apertura de cabina de horno con grasa de temperatura media con frecuencia de seis meses, engranes de ajuste de altura de lámparas con grasa de temperatura media con una frecuencia anual.

Lubricación con aceite; cajas reductoras de motores eléctricos con una frecuencia de seis meses aproximadamente. Lubricadores automáticos de cilindros de apertura de horno con una frecuencia semanal o quincenal dependiendo del ajuste de gota del lubricante.

- Revisión y control de fuga de aceites de lubricación y de aire comprimido

Para la revisión de fuga de aceite se debe observar posibles manchas de aceite en las mangueras de alimentación de cilindros y sus alrededores, válvulas neumáticas y cajas reductoras de motores. En cuanto el control de fugas de aire comprimido se debe revisar el estado físico de las mangueras neumáticas, escuchar atentamente posibles ruidos de escape de aire y lo más importante tomar una lectura periódica de la presión del aire de funcionamiento normal del horno.

- Revisión, limpieza y apriete de borneras eléctricas, módulos y tarjetas electrónicas

Para el mantenimiento preventivo de la parte de control eléctrico como los reveladores, módulos electrónicos y variadores de velocidad, se debe limpiar la parte de contactos móviles con solvente de tipo industrial dieléctrico como dieltron o electrazol que son solventes con características dieléctricas de alrededor de los 45 Kv y se debe realizar con una frecuencia que depende de las condiciones del ambiente en el que se encuentran los paneles, por lo regular se recomienda en un período de tres a seis meses de frecuencia. Se debe realizar el apriete de tornillería de borneras ubicado en el panel de control de la lámpara en el cual el torque máximo a aplicar será solamente el generado por la mano y dependerá del diámetro del tornillo con el uso del destornillador de la medida del diámetro del tornillo.

- Revisión de equipos secundarios como cilindros de apertura de cabina de horno

Tuberías de refrigeración de lámparas y electroválvulas neumáticas de apertura de cortinas: como parte del mantenimiento del horno se debe realizar la revisión de los cilindros neumáticos de levantamiento de cabina de horno en el que se debe desmontar el cilindro y verificar que no exista fuga de aire en empaques y cuerpo del cilindro, también se debe observar físicamente posibles daños en el vástago o rajaduras. Para la

tubería de refrigeración de reflectores se debe observar el estado físico de las mangueras, que no presenten fugas ni rajaduras, se debe observar internamente que no exista incrustación de minerales y se debe medir el flujo de agua de retorno que dependerá de lo indicado por el fabricante y que para un horno de seis lámparas será de aproximadamente de 30 galones por minuto. También se debe realizar la revisión de electroválvulas neumáticas que tienen como función la apertura de cortina de lámparas, primero se hacen funcionar de forma manual girando el tornillo de movimiento manual que poseen cada una de ellas y observar que la presión de aire sea lo suficiente para mover el mecanismo de apertura de cortinas, seguidamente se debe cerrar el paso de aire comprimido hacia la electroválvula y proceder a desmontarla y desarmarla verificando el estado físico de empaques y elementos móviles como lo son el embolo y diafragmas, esto se debe realizar con una frecuencia de aproximadamente seis meses de funcionamiento.

5.2.1.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo busca predecir los posibles fallos que puedan presentarse durante el proceso normal de operación del horno e intervenir en el momento justo para evitar correcciones durante el tiempo de producción o también, para ajustar tiempos de mantenimiento preventivo, según el requerimiento predictivo.

Para el mantenimiento predictivo se debe seguir con el formato del apéndice tres, en el que se indican las siguientes mediciones que se debe realizar a cada uno de los motorreductores que son: mediciones de intensidades de corriente de forma periódica, análisis de vibraciones, lecturas de termografía de equipos, temperaturas de funcionamiento con base de lámparas en condiciones de operación y el historial de reemplazo de cada lámpara del horno.

Para el mantenimiento predictivo del horno UV se darán las directrices a realizar, tal como se hizo en el mantenimiento preventivo y para este caso analizaremos lo siguiente:

- Lámparas ultravioleta
- Reflectores de lámparas
- Motorreductores
- Sistema eléctrico

En el predictivo de las lámparas UV se analizará el historial del reemplazo de las lámparas con el objetivo de establecer el tiempo promedio de vida de cada lámpara según su uso apoyándonos con el formato indicado en el apéndice cuatro, con este dato se puede pronosticar el momento justo de reemplazo antes de que se dañe durante el proceso de producción, debido a que el tiempo de vida de las lámparas depende del número de veces de encendido, del sistema de enfriamiento y de la potencia suministrada para conseguir los diferentes tipos de radiación UV.

Por lo anterior, el formato del apéndice cuatro en el que se especifica el número de lámpara o posición dentro de la cabina del horno, el número de horas efectiva de operación, temperatura de entrada y salida del agua por lámpara; ayudará para tener una referencia del tiempo promedio de reemplazo de cada lámpara según la operación del horno.

En el mantenimiento predictivo para el reflector UV se implementará el mismo formato del apéndice cuatro en el que esta indicado el número de lámpara o posición dentro de la cabina del horno y la lectura de la cantidad de radiación emitida por cada

lámpara para cada nivel de intensidad. Este procedimiento se realizará teniendo como objetivo determinar que el nivel de intensidad de radiación UV de cada lámpara sea el correcto y si el caso fuese que la radiación no es aproximadamente igual para cada lámpara, realizar el preventivo de esa lámpara y programar la limpieza de reflectores o el reemplazo de la lámpara. Este control es importante realizarlo porque recordemos que la intensidad de radiación UV es emitida a través del cuerpo de la lámpara en todas direcciones y guiadas a un sólo punto por medio del reflector, si el reflector está dañado o sucio, éste presentará problemas de reflexión de los rayos UV en otras direcciones que no son el objeto a curar; esto implicará el aumento de intensidad de otras lámparas para conseguir el mínimo de radiación necesario para el correcto curado, lo anterior causa el aumento de potencia eléctrica y mayor desgaste físico de las otras lámparas.

El procedimiento a seguir para tener los datos de este formato son los siguientes: analizaremos la intensidad de la radiación UV de cada lámpara a través de la lectura del radiómetro y la anotaremos en la casilla correspondiente; se deberá tomar la lectura del radiómetro para cada nivel de intensidad de radiación y compararse con la de las otras lámparas en la que una variación de intensidad UV entre lámparas nos indicara algún posible fallo o la necesidad de limpiar o pulir los reflectores, también podrá ser el indicador de un posible fallo de la lámpara por tiempo de vida o sobrecalentamiento.

El mantenimiento predictivo para los motorreductores estará dado en función del análisis de vibraciones y de termografía. Con el análisis de vibraciones se tratará de determinar la posible fricción entre piezas mecánicas o desgaste en rodamientos internos, esto se realiza a través de sonidos que sobrepasan un rango determinado aceptable. La termografía en el motorreductor determinará el sobrecalentamiento del motor e indicará si se encuentra trabajando con sobrecarga, lo que hará que preveamos las acciones correctivas, como lo son la lubricación de piezas mecánicas, revisión de chumaceras, ejes, cuñeros y partes móviles de los elementos mecánicos acoplados al

motor. Finalmente, se aplicará el mantenimiento predictivo para el sistema eléctrico del horno ultravioleta de la forma que se muestra a continuación.

Primero, se debe determinar el ambiente adecuado de operación recomendable para los componentes eléctricos y electrónicos del horno, esto se hará con el fin de saber la condición adecuada en la que debe trabajar cada componente, según la función normal de operación; es decir teniendo el ambiente adecuado se analizara elemento por elemento para detectar sobrecalentamientos en los mismos. Estos elementos normalmente deben encontrarse a una temperatura ambiente de entre 20 y 30 °C

El análisis termográfico de los equipos se debe realizar en períodos variables de tiempo que dependerán de la frecuencia con la que se utiliza el horno, en condiciones normales de operación, se recomienda en períodos de seis meses, la importancia del análisis termografico para componentes eléctrico consiste en que con este método es posible determinar, fallos por falsos contactos o por excesos de operación de componentes como: relevadores, contactores y guardamotors, también es posible determinar bobinas sobrecalentadas por fallo en su aislamiento. El inconveniente principal del análisis de termografía es el alto costo que tiene la cámara termográfica.

5.3. Control de nivel de radiación

Como complemento del mantenimiento preventivo y predictivo otra parte fundamental en la eficiencia del horno implica el correcto curado de las tintas impresas en la lámina de hojalata, esto es fundamental puesto que un mal curado se debe principalmente al funcionamiento incorrecto de las lámparas.

Debido a la alta temperatura a la que se mantiene el cuerpo de la lámpara durante su funcionamiento esta tiende a curvarse haciendo que la radiación no sea uniforme a lo

largo de la lámpara por lo que al ocurrir este fenómeno, se observará distintos niveles de radiación en el material a curarse a lo largo de la lámpara.

Para tener controlado el nivel de radiación que llega al objeto a curarse algunos fabricantes de lámparas recomiendan girar 180° la lámpara sobre su eje cada 200 horas de utilización, esto para compensar la deformación curva de la lámpara.

Debido a que la radiación necesaria para el curado de ciertas tintas depende de parámetros indicados por el fabricante en muchas ocasiones se debe variar la intensidad de emisión de radiación de la lámpara para curar distintos tipos de tintas, por lo anterior no se debe simplemente girar la lámpara cada 200 horas; más bien es conveniente realizar una breve prueba de nivel de radiación con el uso del radiómetro para determinar posibles variaciones de intensidad en distintos puntos de la lamina u objeto a curarse.

El control del nivel de radiación se debe realizar para cada una de las lámparas y se debe efectuar de la siguiente forma:

- Colocar el radiómetro en uno de los extremos de la lamina u objeto a curarse y hacer pasar la lámina por el horno con la lámpara a examinar encendida, tomar la lectura del radiómetro y hacer lo mismo dos veces mas para tener la lectura exacta o promedio.
- Cambiar de posición el radiómetro colocándolo en la parte central de la lámpara y de igual forma que la anterior hacer pasar la lamina por el horno con la lámpara a examinar encendida y tomar nuevamente tres lecturas.
- Finalmente colocar el radiómetro en el extremo opuesto al colocado inicialmente y realizar la medición de la misma forma que las anteriores.

- Se debe comparar el dato promedio del nivel de radiación de las tres pruebas y si existe variación alguna se debe considerar el tener que manipular la lámpara para hacerla girar los 180°.

La lectura del radiómetro debe indicar la misma en cualquier parte que se haga pasar a lo largo de la lámpara, esto porque la emisión de radiación UV es constante en todo el cuerpo de la lámpara y las únicas variables para que la radiación emitida por la lámpara pueda cambiar son la distancia entre la lámpara al punto de curado que se manifiesta por la deformación curva de la lámpara y por suciedad o deformación en los reflectores de la lámpara que tienden a enfocar toda la radiación en un punto específico a curarse.

Se debe evitar manipular por cualquier razón la lámpara porque sus extremos que es donde se encuentran los bornes de conexión son normalmente los puntos más vulnerables físicamente y tienden a quebrarse con facilidad.

De las pruebas anteriores se puede determinar de forma exacta la necesidad o no de manipular la lámpara 180° para compensar la variación de intensidad UV al punto de curado.

5.4. Índices de mantenimiento

Al inicio de todo proceso de mejoramiento, ya sea al nivel de individuos o de las organizaciones, exige como primera etapa que se adquiriera conciencia de la realidad y posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar y los medios para ello.

Entre tanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el progreso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones o indicadores de parámetros que

definan claramente el nivel de calidad del desempeño organizacional, constatando, sin subjetivismo, si se ha mejorado o no respecto a la situación inicial.

Existen diversos tipos de indicadores como lo son: los índices de costo relativo con personal propio, costo de mano de obra externa, inmovilización de respuestos entre otros, para el caso del mantenimiento del horno UV analizaremos lo siguiente: disponibilidad total, índice de mantenimiento programado.

5.4.1. Índice de disponibilidad total

Es uno de los indicadores más importantes de la planta. Es el cociente de dividir el número de horas en que el equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un período.

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas.

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{\text{número de horas del equipo disponible}}{\text{número de horas a trabajarse en una semana}}$$

En la fórmula anterior cuando se refiere al equipo disponible se hace para la línea de litografía completa, en el que cada fallo en el horno UV hará que el número de horas del equipo disponible disminuya.

Tomemos el siguiente ejemplo: la línea de litografía UV se programa en una semana para que trabaje 44 horas de producción continua, existe un fallo el sistema de vacío que detiene el proceso 30 minutos, fallos en sincronización de rodillos de impresión que consumen 1 hora con 30 minutos y fallos en el horno que consumen 6

horas durante la semana, nuestro indicador disponibilidad total de equipo se vera reflejado de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{44 \text{ horas} - 8 \text{ horas}}{44 \text{ horas}} = 0.82$$

Lo anterior indica que se debe reducir el tiempo del fallo en los equipos para tratar de conseguir mayor disponibilidad del equipo y que se debe reducir los fallos en la línea de litografía en este caso, el horno UV para aumentar nuestro indicador de disponibilidad del equipo.

5.4.2. Índice de mantenimiento programado

Para mejorar el índice de disponibilidad total, se debe de dar el mantenimiento efectivo en tiempo y repuestos a los equipos, conocer cuanto tiempo de mantenimiento invertimos en los equipos es necesario para saber el grado de efectividad de los mismos, el índice de mantenimiento programado tiene por finalidad conocer este valor. El índice de mantenimiento programado está dado por:

$$\text{Índice de mantenimiento programado} = \frac{\text{Porcentaje de horas invertidas en realización de mantenimiento programado}}{\text{Horas totales}}$$

El índice de mantenimiento programado debe ser el ciento por ciento de lo programado, pero en ocasiones no resulta de esta forma, las causas de esto puede ser, falta de personal técnico, falta de repuestos, falta de tiempo cedido por producción, mantenimiento correctivo urgente en otras líneas de producción entre otras causas. Al cumplir a cabalidad con el índice de mantenimiento programado en una línea de

producción se reflejará en una mejora en el índice de disponibilidad total de línea, si esto no sucede se deberá prestar atención en la efectividad del mantenimiento.

5.5. Demostración de rentabilidad de inversión, calculo de TIR

Teniendo en cuenta que para conseguir los resultados esperados, se debe realizar las mejoras descritas en el anterior capítulo, y que para esto se debe invertir no sólo en tiempo si no que también en dinero, además se debe demostrar haciendo un estimado del tiempo de retorno de la inversión realizada inicialmente que esto es rentable económicamente, para este propósito se analizará según el siguiente ejemplo si conviene realizar el proyecto el retorno de la inversión o TIR que es la tasa interna de retorno, según la inversión inicial el método ayudará a definir si vale la pena realizar la inversión o no es conveniente realizarse el proyecto.

Para analizar la rentabilidad del proyecto de mantenimiento se necesita de una inversión inicial de Q.68 000,00 desglosada de la siguiente forma:

Costo de personal técnico	Q. 2 500,00
Capacitación de personal	Q. 500,00
Compra de repuestos	Q. 50 000,00
Costo de tiempo de producción	Q. 15 000,00

Se estima un presupuesto de Q.8 000,00 para mantenimiento mensual durante los siguientes 4 años distribuidos como sigue:

Costo por personal técnico mensual Q. 500,00
 Costo de repuestos y lubricantes mensuales: Q.7 500,00
 Costo total por mantenimiento mensual: Q.8 000,00
 Costo total por mantenimiento anual: Q.8 000,00X12 = Q.96 000,00 anual.

El beneficio económico que se obtiene de la línea de litografía UV completa se distribuye de la siguiente forma:

Alimentador de hojas 15%
 Prensas litográficas 40%
 Hornos de curado UV 30%
 Desalimentador de hojas 15%

Para el 30% de ganancia del horno UV de forma anual le corresponde Q.124 000,00 con un valor neto de Q.124 000,00 – Q.96 000,00 = Q.28 000,00

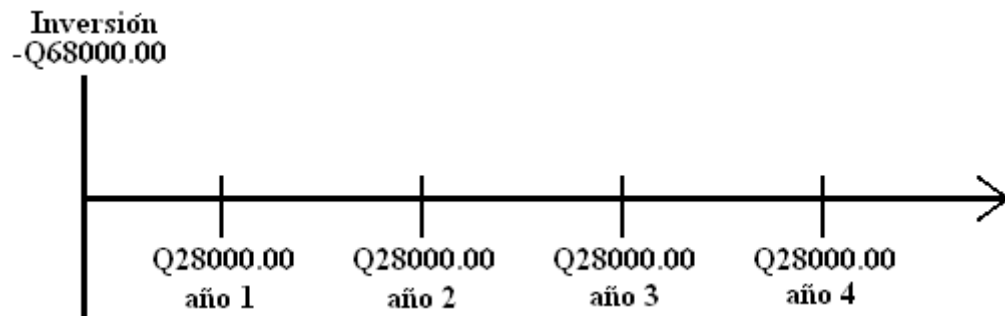
De lo anterior obtenemos los siguientes valores:

Inversión inicial: Q.68 000,00

Gastos anuales de mantenimiento: Q.96 000,00

Ingresos anuales de: Q.124 000,00

Valor neto: Q.28 000,00



Realizando la operación en una hoja de cálculo para despejar el valor de TIR se obtiene lo siguiente:

Año	Ingresos	Gastos	Valor neto (ingresos- gastos)
0	Q.0,00	Q.68 000,00	-Q.68 000,00
1	Q.124 000,00	Q.96 000,00	Q.28 000,00
2	Q.124 000,00	Q.96 000,00	Q.28 000,00
3	Q.124 000,00	Q.96 000,00	Q.28 000,00
4	Q.124 000,00	Q.96 000,00	Q.28 000,00

Tir = 23.44 %

La regla o criterio para realizar una inversión utilizando la TIR es la siguiente: cuando la TIR es mayor que la tasa de interés, el rendimiento que obtendría el inversionista realizando la inversión es mayor que el que obtendría en la mejor inversión alternativa, por lo tanto, conviene realizar la inversión. Si la TIR es menor que la tasa de interés, el proyecto debe rechazarse. Cuando la TIR es igual a la tasa de interés, para el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no.

De acuerdo con lo escrito anteriormente y una tasa de interés en el mercado de 10.5% anual se obtiene que: TIR = 23.44% mayor que 10.5% de interés anual sobre la inversión inicial, por lo tanto la inversión debe realizarse.

5.6. Seguridad personal y de equipos

El tema de seguridad en este capítulo estará tratado para el horno de curado de tintas, personal operativo y de mantenimiento del equipo, para cada caso se definirá la seguridad como una serie de actividades o procedimientos que buscan prevenir un daño o situación que pueda generar riesgo físico a personas o deterioro de equipos.

5.6.1. Seguridad en el uso del equipo

Las medidas a tomar en cuenta para la seguridad del equipo del horno ultravioleta son:

- Operación correcta del horno UV
- Manipulación adecuada de las lámparas UV
- Controles de operación de sistemas secundarios

La importancia de la operación adecuada del horno tiene su base en que si se sigue las instrucciones de operación del fabricante de forma correcta evitaremos daños al equipo, para la operación correcta del horno se debe seguir lo siguiente:

- Evitar el encendido y apagado de lámparas de forma frecuente.
- Reemplazar lámparas UV o aplicar el mantenimiento correspondiente, según el procedimiento que se indicó anteriormente.
- No sobrecargar el horno, esto es encendiendo todas las lámparas del horno a su máxima potencia por períodos largos de tiempo.
- Realizar la lista de chequeos de equipos secundarios como lo son, temperatura de agua de chillers, niveles de presión de aire comprimido, niveles de radiación UV, control de funcionamiento de micros de seguridad.
- Control y seguimiento de rutas de lubricación.

En la prolongación del tiempo de vida útil de la lámpara, se debe evitar encender la mayor cantidad posible de lámparas, para conseguir determinado nivel de radiación, esto se puede controlar, ya que el fabricante de tintas indica que para ciertos niveles de radiación es posible conseguir el curado de una forma eficaz; por consiguiente, con este tipo de información podemos hacer que se utilicen sólo las lámparas necesarias; es decir, podemos ajustar el nivel de radiación haciendo que todas las lámparas trabajen a mediana potencia o de ser necesario ajustar dos o más lámparas a potencia máxima y deshabilitar las que muestren síntomas de reemplazo o giro de las mismas; según el estudio que se mencionó en la sección anterior, es de recordar que el encendido de las lámparas recorta su tiempo de vida útil y que el nivel de radiación se puede ajustar dependiendo de la cantidad de lámparas con las que cuente el horno.

Para el reemplazo de las lámparas ya sean éstas por deterioro, quemadas o por realizársele el giro de 180° se debe hacer con el cuidado, debido para evitar que el tubo de la lámpara se fracture y los pedazos de vidrio ocasionen cortes o lesiones al personal o el equipo.

No sobrecargar el horno encendiendo de forma innecesaria lámparas, con la creencia de que se logra mejor curado, cabe recordar que el curado de la tinta UV se realiza por la radiación de ondas con longitudes en la banda UV y el curado no se realiza por medio de temperatura o radiación infrarroja.

Los equipos secundarios deben estar en óptimas condiciones, pues esto, afecta directamente el desempeño del horno y éste es un factor importante en la seguridad del equipo, tomando como ejemplo variaciones en la temperatura del agua de enfriamiento del horno con temperatura en un extremo altamente frío; esto puede provocar la condensación del agua en las afueras de la tubería del equipo y ocasionar cortos circuitos, goteos dentro del horno o pozas de agua creando riesgos personales y del equipo. Por otro lado, una temperatura extremadamente caliente del agua puede

ocasionar que los reflectores de la lámpara se deformen, haciendo que la radiación no sea totalmente efectiva hacia el objeto a curarse. De lo anterior, se recomienda llevar un control estricto de los parámetros a los cuales se debe operar el horno para asegurar que el proceso se realice de forma correcta.

Otra parte fundamental, en cuanto a la seguridad del equipo, es el correcto funcionamiento de sus piezas mecánicas internas y para este fin, se debe contar con el control necesario en el que indique según especificaciones del fabricante el tipo, la cantidad y la frecuencia con la cual se debe aplicar el lubricante correcto a las piezas móviles.

5.6.2. Seguridad personal

Finalmente, el punto más importante de la seguridad es el relacionado con la seguridad personal, durante la operación del horno y para esto se tratará lo siguiente:

- Microswitchs de seguridad de la cabina del horno
- Uso de equipo de protección personal
- Riesgos del ozono

Los microswitch de seguridad previenen de que las lámparas UV estén en funcionamiento después de que se ha levantado o abierto la cabina del horno, su función es la de desactivar las lámparas eléctricamente cuando son activados. En condiciones normales de operación, nunca se debe abrir la cabina debido a que la intensidad de las lámparas podría provocar ceguera, quemaduras o cáncer en la piel; por tal razón, el control del funcionamiento correcto de estos microswitch es fundamental en la seguridad del personal involucrado en la operación del equipo.

El uso del equipo de protección personal con el que se debe contar para este trabajo es el siguiente: lentes protectores de radiación UV, mascarilla, protectores auditivos, guantes de alta temperatura y zapatos de tipo industrial.

Los lentes protectores deben ser de forma tal que reflejen la radiación UV, sin embargo a pesar de contar con este tipo de lente, nunca se debe observar directamente la lámpara en funcionamiento dentro del horno, la función de estos lentes es reflejar la mayor parte de la radiación UV que se observa de forma indirecta o involuntaria. El uso inadecuado de estos lentes puede provocar ceguera.

En cuanto a riesgos del ozono a la salud de las personas se indica lo siguiente: el funcionamiento normal de las lámparas UV produce ozono, el ozono (O_3), es una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los 2 átomos que componen el gas de Oxígeno. Cada átomo (O) liberado se une a otra molécula de Oxígeno (O_2), formando moléculas de Ozono (O_3). La molécula de ozono es muy inestable y tiene una corta vida media.

A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor acre y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades es tóxico y puede provocar la muerte.

Se descompone rápidamente en presencia de oxígeno a temperaturas mayores de $100^{\circ}C$, el ozono generado por las lámparas del horno normalmente está limitado a cantidades pequeñas que no producen daños relevantes a la salud del personal, sin embargo el ozono penetra fácilmente en las vías respiratorias, gracias a su capacidad de disolución, provocando la irritación de las mucosas y los tejidos pulmonares.

Los síntomas más frecuentes que produce el exceso de ozono son tos, dolor de cabeza y dolor pectoral al inspirar profundamente, por lo que el personal operativo y demás personas que trabajan en el área son los que corren más riesgos de ser perjudicados por este contaminante, aunque el grado de afectación variará en función de la sensibilidad individual y de la concentración de ozono.

Debido a que el ozono generado por el horno está dado en cantidades pequeñas menores a 110 microgramos por metro cúbico, que son considerados fuera de peligro para el ser humano y como se mencionó anteriormente, la vulnerabilidad de cada persona está dada a su tolerancia o sensibilidad a este tipo de gas, como medida de seguridad del operador se debe contar mínimo como parte del equipo de protección personal el uso de mascarillas que cubran la boca y nariz.

CONCLUSIONES

1. Uno de los lineamientos técnicos que ayuda a mejorar la seguridad personal y del equipo es la forma correcta del reemplazo de lámparas ultravioleta, esto dará como resultado prolongar su vida útil y reducir quebraduras del tubo de la lámpara que pueda ocasionar riesgo de corte al operador del horno.
2. La altura correcta de las lámparas aumenta la eficiencia en el aprovechamiento de la potencia de energía generada, esto se logra porque se obtiene la mejor concentración de radiación en un solo punto.
3. El correcto escalonamiento en el nivel de potencia de radiación por cada lámpara hace que aumente su vida útil, esto se obtiene porque se demanda la misma cantidad de potencia para cada lámpara del horno sin forzar o demandar mayor potencia de forma desordenada de las lámparas del horno.
4. El equipo mínimo de seguridad personal que se debe utilizar para la operación del horno es: lentes antirrayos ultravioleta, guantes de cuero para manipulación de láminas por litografiar, guantes de tela para manipulación de lámparas UV, mascarillas para protección de emisiones de ozono, gabacha de cuero para protección del cuerpo del operador ante posibles quebraduras de los tubos de las lámparas.
5. La implementación del formato de giro de 180° del tubo de las lámparas cada 200 horas de funcionamiento continuo, según especificación del fabricante, mejorará la eficiencia del curado, esto porque existirá un control exacto de la deformación en forma de arco que presenta la lámpara después de transcurrido el tiempo de 200

horas, por lo que se busca que la deformación sufrida tienda a eliminarse realizando este procedimiento.

6. La instalación del circuito de alarma para lámparas apagadas tendrá como resultado la reducción de la merma de producción, esto es debido a que actualmente por la operación normal de la línea el ruido y la distancia que ocupa cada uno de los hornos hace que el operador en ocasiones no se pueda dar cuenta de que el horno está en modo de fallo.

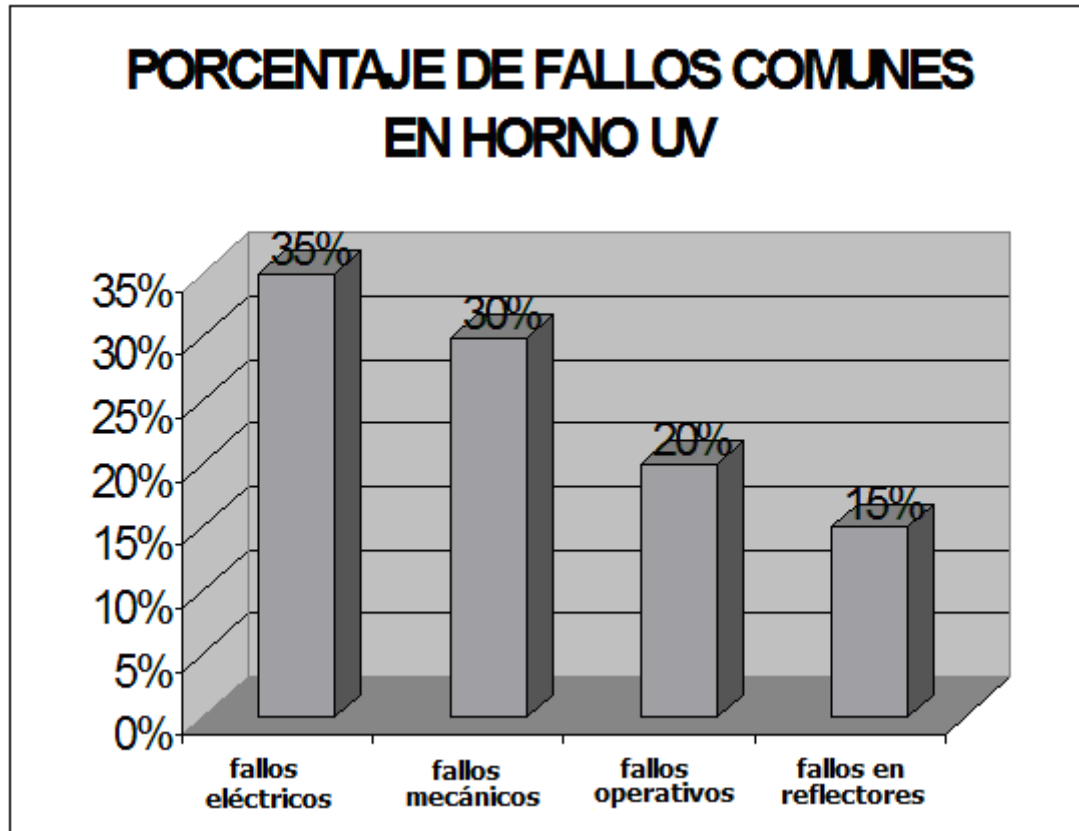
RECOMENDACIONES

1. Implementar el mantenimiento preventivo correcto al horno ultravioleta, el cual proporcionará resultados favorables, en cuanto a disponibilidad y vida útil del equipo.
2. Evaluar el reemplazo de las lámparas UV con casquillos metálicos por lámparas de casquillos cerámicos con cables en los extremos, ya que actualmente los metálicos son agarrados directamente por mordazas para energizar la lámpara, debido a la temperatura alta que alcanza la lámpara en condiciones normales de operación, estos extremos de las lámparas se debilitan fácilmente provocando que a la más mínima vibración quiebre el casquillo y por estar el estudio del casquillo plástico para lámparas de horno ultravioleta fuera del alcance de esta tesis no se analiza el tema.

BIBLIOGRAFÍA

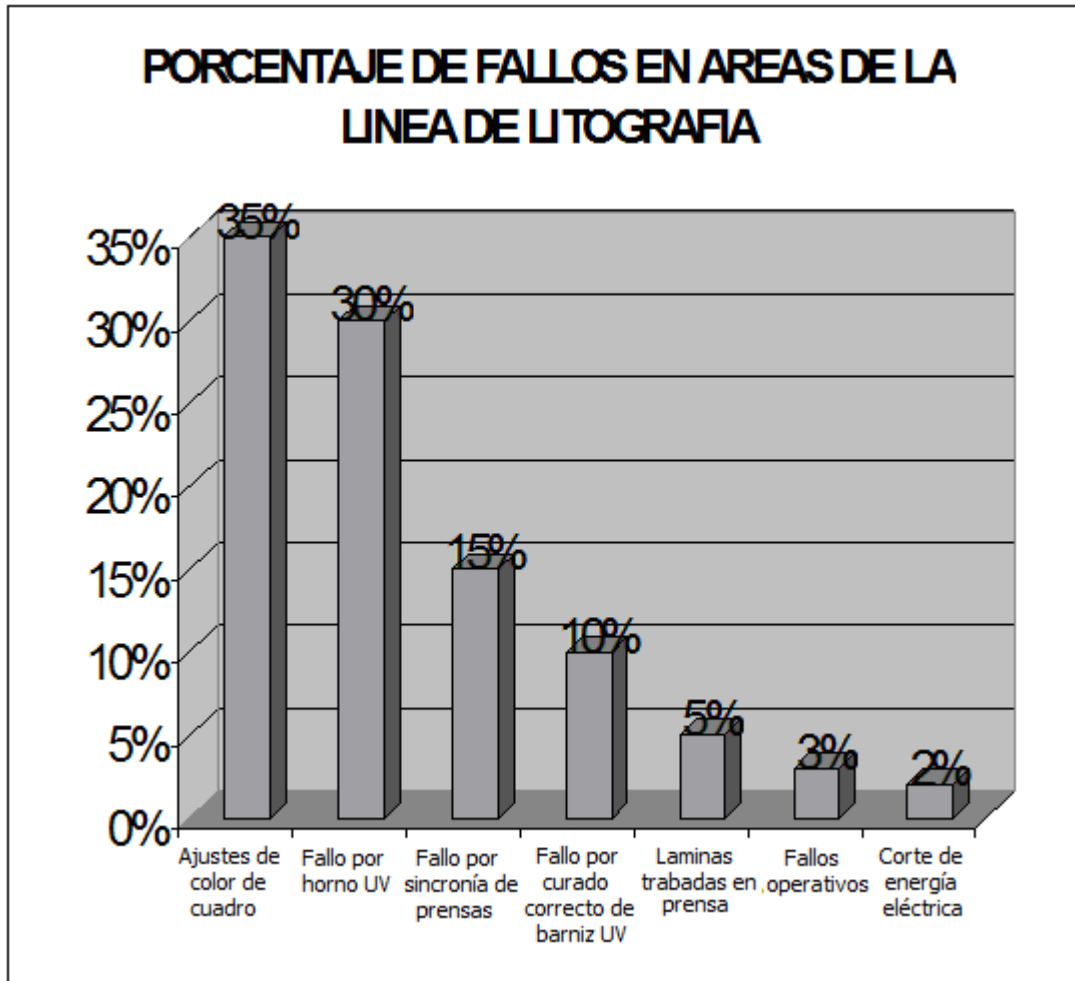
1. *Comparación entre lámparas ultravioleta de baja presión y lámparas ultravioleta de media presión.* [en línea] marzo de 2007/ Disponible en Web: www.biolight.cl
2. *Calcular la TIR y el VAN.* [en línea] mayo de 2009/ Disponible en Web: www.hojas-de-calculo-en-excel.blogspot.com
3. *Continuación de la ponencia de tintas de secado UV.* [en línea] marzo de 2007/ Disponible en Web: www.aepag.es
4. *Definición de eficiencia.* [en línea] abril de 2009/ Disponible en Web: www.definicion.de/eficiencia.
5. *Elementos necesarios para formación de distintos tipos de presiones en el interior de las lámparas ultravioleta.* Folleto informativo. Grupo Zapata Guatemala, 2002, p8.
6. *Introducción a las pinturas industriales.* [en línea] marzo de 2007/ Disponible en Web: www.construsur.net
7. *Información de la luz ultravioleta.* [en línea] marzo de 2007/ Disponible en Web: www.lenntech.es
8. *Registro de mantenimiento preventivo a lámparas de horno 7L, línea litográfica UV.* Grupo Zapata Guatemala, 2004, p10.

APÉNDICE I



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE II



Fuente: elaboración propia.

