

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA  
MÁQUINAS DE CURADO ULTRAVIOLETA ORIENTADAS A LA  
INDUSTRIA GRÁFICA PERUANA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Pablo Cárdenas Cáceres**

**ASESOR: Ing. Gonzalo Cucho Padín**

Lima, Agosto 2015

## RESUMEN

Una de las industrias más antiguas del mundo consiste en aplicar una tinta, generalmente oleosa, sobre unas piezas metálicas, llamadas tipos, para transferirla al papel por presión. La imprenta o la industria de las artes gráficas, ha ido desarrollándose exponencialmente en el transcurso del tiempo con el uso de nuevas tecnologías y técnicas por causa de la demanda que día a día aumenta aún más.

De todas las radiaciones electromagnéticas existentes en el universo que se pueden representar en un gráfico en función de su longitud de onda, la radiación ultravioleta fue adoptada por la industria de las artes gráficas en los años setenta, cuando se empezaron a formular las primeras tintas litográficas tratables con esta radiación.

En la actualidad, las lámparas que emiten radiación ultravioleta tienen una extensa aplicación en la industria gráfica debido al nuevo abanico de posibilidades que ha desplegado para el secado o curado de tintas y barnices, ya que logra este objetivo en fracciones de segundo. La máquina creada para este proceso es denominada como Túnel UV o Túnel de curado UV.

En la industria peruana la fabricación de estas máquinas no es ajena. Sin embargo, muchas microempresas no cuentan con el soporte tecnológico para lograr un adecuado funcionamiento de las lámparas UV, pues éstas requieren un adecuado encendido además de una refrigeración controlada para mejorar la eficiencia de las mismas.

La presente tesis plantea el diseño y la implementación de un sistema de automatización de bajo costo para los túneles de curado ultravioleta fabricados por la empresa CREATUM PERU S.A.C. de manera que, además de dotarlos de soporte tecnológico, logre una optimización en su funcionamiento; es decir, un curado idóneo a una mayor velocidad, además de llevar un registro del tiempo de funcionamiento de las mismas y de dotarlos de control inalámbrico para un mejor desempeño del operario en su zona de trabajo.

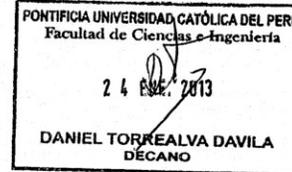
FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Desarrollo de un sistema de automatización para máquinas de curado ultravioleta orientadas a la industria gráfica peruana  
 Área : Electrónica 1092  
 Asesor : Cucho Padín, Gonzalo  
 Alumno : Cárdenas Cáceres, Pablo  
 Código : 20039015  
 Fecha : 01/09/2012



Descripción y Objetivos

La tendencia a las mejoras tecnológicas está presente en muchas áreas de la industria y la gráfica no es ajena a ella. Una de las máquinas más usadas en este entorno es el horno o túnel de curado ultravioleta el cual, haciendo uso de dicha radiación, puede conseguir el secado instantáneo de tintas y barnices los cuales son aplicados en procesos de impresión y acabado industrial sobre diferentes tipos de papel para, así, incrementar la producción diaria.

En la industria nacional estas máquinas comenzaron a ser fabricadas por diversas empresas para cubrir la alta demanda del mercado de las artes gráficas. Uno de los principales problemas es que no poseen el avance tecnológico necesario para competir con el mercado nacional y extranjero.

El objetivo general de esta tesis es diseñar e implementar un sistema de automatización de bajo costo para las máquinas de curado ultravioleta fabricadas por la microempresa CREATUM PERU S.A.C.

Para cumplir el cometido, la presente tesis plantea, mediante el análisis de distintas alternativas, mejorar el control del sistema refrigerador de las lámparas UV, dotar al sistema un control inalámbrico, llevar un registro del tiempo de uso de las lámparas UV, además de diseñar e implementar una agradable interfaz para el operario.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍAPONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Título : Desarrollo de un sistema de automatización para máquinas de curado ultravioleta para la industria gráfica peruana

**Índice**

Introducción

1. Problemática del curado ultravioleta en la industria gráfica peruana
2. Fundamento teórico sobre sistemas de curado ultravioleta
3. Diseño de un sistema de automatización para máquinas de curado ultravioleta orientados a la industria gráfica
4. Pruebas y resultados

Conclusiones

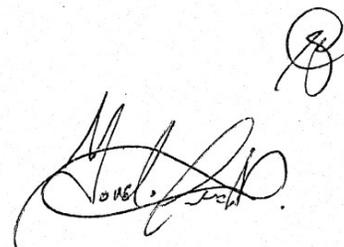
Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA  
Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

**MÁXIMO** 50 **PÁGINAS**



*A Dios, porque es a él a quien todo le debo.*

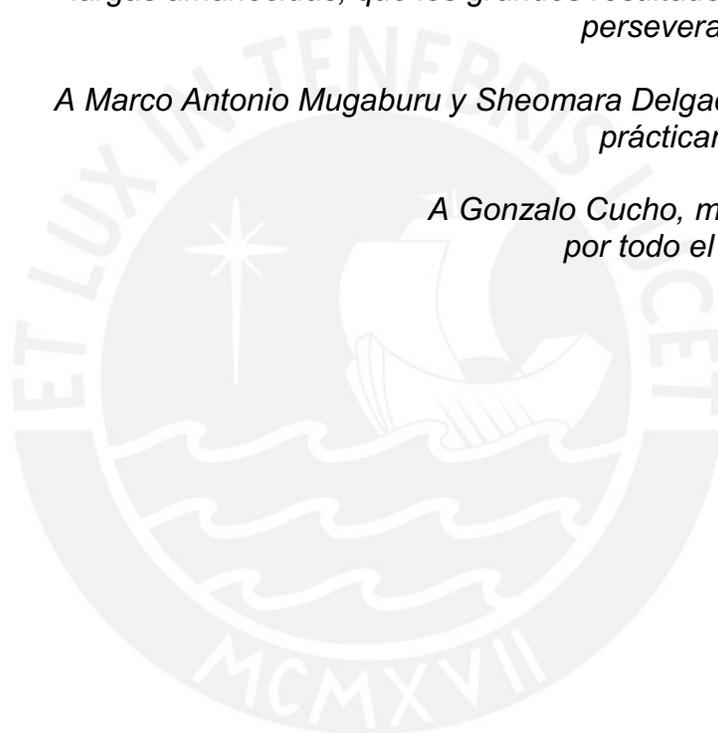
*A Maximiliana, mi madre; Pablo, mi padre; a Teresa, mi hermana y a Christian, mi hermano, quienes soportaron mi ausencia y comprendieron el eterno amor y la infinita pasión por mi carrera.*

*A la memoria de José Manuel Carillo Barrera, mi mejor amigo, quien me enseñó la valiosa virtud de compartir y por quien doblegué mis esfuerzos. Desde que Dios te lleva en su gloria, todo fue por los dos.*

*A Laurence Jiménez, mi incondicional amigo y hermano, con quien entendí, en largas amanecidas, que los grandes resultados son producto de perseverancia y dedicación.*

*A Marco Antonio Mugaburu y Sheomara Delgadillo quienes son, prácticamente, mi familia.*

*A Gonzalo Cucho, mi asesor de tesis, por todo el apoyo mostrado.*



## ÍNDICE

Pág.

### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA DEL CURADO ULTRAVIOLETA EN LA INDUSTRIA GRÁFICA PERUANA

1.1. Entorno general	1
1.1.1. Características generales de las máquinas de secado de tinta mediante radiación ultravioleta	1
1.1.2. Tendencia tecnológica Digital	2
1.2. Entorno específico	2
1.2.1. Demanda	2
1.2.2. Fabricantes	3
1.3. Entorno organizacional	3
1.3.1. Usuarios	3
1.3.2. Tecnología	4
1.4. Declaración de la Problemática	4

### CAPÍTULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE SISTEMAS DE CURADO ULTRAVIOLETA

2.1. Estado del arte	6
2.1.1 Presentación del asunto de investigación	6
2.1.1.1. Ventajas del Curado Ultravioleta	6
2.1.2. Máquinas de secado de tintas y barnices con radiación ultravioleta	7
2.1.2.1. El emisor UV	7
2.1.2.2. Duración de una lámpara UV	8
2.1.2.3. Contador de horas de funcionamiento	8
2.1.2.4. Sistemas de refrigeración	8
2.2. Estado de la Investigación	9
2.2.1. Automatización de procesos industriales	9
2.2.1.1. Automatismos con computadoras industriales	9

2.2.1.2. El controlador lógico programable (PLC)	10
2.2.1.3. Automatismos con microcontroladores	10
2.2.2. Tecnologías en el control de Temperatura	10
2.2.2.1. Control por histéresis: Lógica ON-OFF	10
2.2.2.2. Control PID	11
2.2.3. Tecnologías en el accionamiento digital de contactores	12
2.2.3.1 Accionamiento mediante relés mecánicos	12
2.2.3.2 Accionamiento mediante relés de estado sólido (SSR)	13
Estructura interna del SSR	14
Protección contra cargas Inductivas: Red Snubber	15
2.2.4. Protección eléctrica contra transitorios en redes industriales	15
2.2.4.1 Filtros de línea	15
Ruidos conducidos	16
Ruidos radiados	16
2.2.5. Tecnologías de comunicación inalámbrica en la industria	17
2.2.5.1. Protocolo de comunicación Zigbee	17
2.2.5.1. Protocolo de comunicación Bluetooth	18
 <b><u>CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA MÁQUINAS DE CURADO ULTRAVIOLETA ORIENTADOS A LA INDUSTRIA GRÁFICA</u></b>	
3.1. Consideraciones preliminares	19
3.1.1. Objetivos de la investigación	19
3.1.1.1. Objetivo general	19
3.1.1.2. Objetivos específicos	19
3.1.2 Determinación de requerimientos del sistema de automatización	20
3.1.2.1. Requerimientos de hardware	20
3.1.2.2. Requerimientos de software	21
3.1.3. Esquema general del sistema de automatización	22
3.2. Selección del circuito de control	22
3.2.1. La placa de desarrollo Arduino	23
3.3. Selección del circuito de control de temperatura	24
3.5. Selección de la tecnología para el accionamiento de contactores	28

3.6.	Diseño e implementación del circuito de potencia para la activación de contactores basado en triacs y control del variador de frecuencia	29
3.6.1.	Diseño de un SSR discreto basado en triacs	29
3.6.1.1.	Disipación de calor	30
3.6.2.	Diseño del circuito de control para las entradas del variador de frecuencia	31
3.7.	Configuración del variador de frecuencia Delta	33
3.8.	Selección de la tecnología de comunicación	34
3.9.	Diseño e Implementación de la interfaz de usuario	35
3.9.1.	Elaboración de un teclado de membrana personalizado	35
3.9.1.1.	Diseño gráfico del teclado de membrana	35
3.9.1.2.	Diseño de la placa del teclado de membrana	37
3.9.2.	El sistema operativo de Google: Android	38
3.9.2.1.	Programación en el entorno Eclipse con la SDK de Android	39
3.9.3.	Menús del lcd gráfico TS12864 con controlador KS0108	40
3.9.3.1.	Creación de menú gráfico	40
3.10.	Programación del algoritmo principal	41
3.10.1.	Programación de la placa de desarrollo Arduino: <i>Processing</i>	41
3.10.	Etapa de alimentación para el circuito de control y potencia	43

#### CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.	Introducción	44
4.2.	Control de temperatura	44
4.3.	Horómetro	47
4.3.	Eficiencia de producción y ahorro de energía	48
4.5.	Presupuesto	50

<b>CONCLUSIONES</b>	51
---------------------	----

<b>RECOMENDACIONES</b>	52
------------------------	----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	53
---------------------	----

<b>ANEXOS</b>	56
---------------	----

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema general de un sistema de curado ultravioleta	1
Figura 2. Sistema de curado UV de la empresa LCH	2
Figura 3. Lámparas de curado ultravioleta de alta presión de mercurio	7
Figura 4. Control de temperatura por histéresis	11
Figura 5. Control PID de temperatura	12
Figura 6. Circuito de control con relés mecánicos	13
Figura 7. Conexión típica entre un SSR y un contactor	13
Figura 8. Diagrama interno de un SSR	14
Figura 9. Filtros de línea comerciales	17
Figura 10. Diagrama de bloques del sistema de automatización	22
Figura 11. La placa de desarrollo Arduino Mega 2560	24
Figura 12. Controlador industrial REX-C100FK02-.M*AN	25
Figura 13. Diagrama de interconexión entre el max31885 y un microcontrolador	26
Figura 14. Diagrama de interconexión entre REX-C100 y el Arduino Mega 2560	27
Figura 15. Diseño de un SSR discreto	29
Figura 16. Modelo teórico de disipación de calor	30
Figura 17. Entradas multipropósito del Variador de frecuencia	31
Figura 18. Diseño del control para las entradas del variador de frecuencia	32
Figura 19. Placa de potencia, para 6 contactores y 3 entradas del variador Delta	32
Figura 20. Conexión del módulo Bluetooth HC-06 y el Arduino mega 2560	35
Figura 21. Diseño gráfico del teclado de membrana	36
Figura 22. Conexión física entre los leds y el teclado de membrana	36
Figura 23a. Diseño de las pistas del teclado de membrana, cara superior	37
Figura 23b. Diseño de las pistas del teclado de membrana, cara inferior	37
Figura 24. Aplicación java controlando el tablero automatizado.	38
Figura 25. Diseño de la aplicación para el dispositivo móvil	39
Figura 26. Adaptador de tensión AC-DC Juyin	43
Figura 27. Prueba de temperatura de la lámpara UV	44
Figura 28. Prueba de temperatura de la lámpara UV (Gráficos)	45
Figura 29. Variación instantánea de la temperatura con la distancia	46
Figura 30. Curva de temperatura controlada	47

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla comparativa entre placas de desarrollo con microcontroladores	23
Tabla 2. Tabla de características del controlador industrial REX-C100FK02-.M*AN	25
Tabla 3. Tabla de características circuito integrado MAX31885	26
Tabla 4. Comparación entre el relé mecánico y el SSR	28
Tabla 5. Manual de configuración de las entradas del variador de frecuencia	33
Tabla 6. Tabla comparativa entre el protocolo Bluetooth y el Zigbee	34
Tabla 7. Consumo de corriente para las etapas de Control y Potencia	43
Tabla 8. Tabla comparativa entre el reloj Atómico en USA y el reloj del Arduino	48
Tabla 9. Tabla comparativa entre una máquina convencional y una máquina automatizada	49
Tabla 10. Presupuesto del sistema de automatización del túnel de curado UV	50

## INTRODUCCIÓN

De todas las radiaciones electromagnéticas existentes en el universo que se pueden representar en un gráfico en función de su longitud de onda, la radiación ultravioleta fue adoptada por la industria de las artes gráficas, comúnmente llamada Imprenta, en los años setenta, cuando se empezaron a formular las primeras tintas litográficas tratables con esta radiación [1] [2].

En la actualidad, las lámparas que emiten radiación ultravioleta tienen una extensa aplicación debido al nuevo abanico de posibilidades que ha desplegado para el secado o curado de tintas y barnices que reaccionan con esta radiación, ya que logra este objetivo en fracciones de segundo [1]. La máquina creada para este proceso es denominada como Túnel UV o Túnel de curado UV [3].

En la industria peruana la fabricación de estas máquinas no es ajena [4] y debido a esto las empresas prestadoras de servicios están construyendo sus propias máquinas de curado. La presente tesis plantea el diseño y la implementación de un sistema de automatización de bajo costo para los túneles de curado ultravioleta fabricados por la empresa CREATUM PERU S.A.C.

El capítulo 1 presenta las características de las máquinas de curado UV y la problemática en la eficiencia de las máquinas fabricadas por Creatum Peru S.A.C.

El capítulo 2 presenta las diferentes tecnologías existentes para mejorar el proceso de curado de las máquinas UV, conteo de horas de funcionamiento de la lámpara UV, control de temperatura, control inalámbrico y mejora en la interfaz humana.

El capítulo 3 muestra el diseño del sistema de automatización de la máquina UV mediante la elección de diferentes alternativas de solución.

Finalmente, el capítulo 4 presenta los resultados del control de temperatura y su relación con el ahorro de energía y mejora en la eficiencia de la producción de la máquina en general.

## CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA DEL CURADO ULTRAVIOLETA EN LA INDUSTRIA GRÁFICA PERUANA

### 1.1 ENTORNO GENERAL

#### 1.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MÁQUINAS DE SECADO DE TINTAS Y BARNICES MEDIANTE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

El uso de la radiación ultravioleta se ha extendido a algunos campos de la industria y específicamente en la gráfica se aplica mediante máquinas comúnmente conocidas como hornos o túneles UV [1]. Un túnel de curado o de secado UV, como se aprecia en la figura 1, consta generalmente de una malla transportadora que contiene el pliego del material impreso o barnizado hasta una cámara donde una o dos lámparas emiten radiación UV en el rango de 100 a 280 nanómetros. Un reflector concentra la radiación UV para optimizar el proceso de secado y un sistema de refrigeración mantiene la temperatura de la lámpara. Generalmente se usa un variador de velocidad por dos razones. Primero, debido a que con el tiempo la lámpara UV emite una menor radiación; por tanto, el pase del material impreso por la cámara UV debe mantenerse más tiempo; esto se consigue variando la velocidad de la faja. Segundo, porque el material impreso puede tener una capa de barniz de mayor grosor, lo que hace indispensable aplicar mayor tiempo de radiación al proceso de curado. El material procesado se almacena en un apilador al final de la malla transportadora.

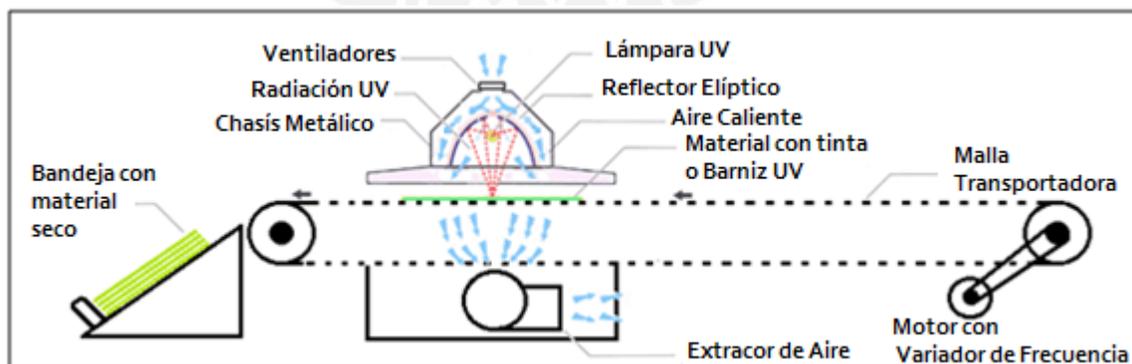


Figura 1. Esquema general de un sistema de curado ultravioleta.

### 1.1.2 TENDENCIA TECNOLÓGICA DIGITAL

La tendencia en el ámbito digital ha crecido exponencialmente debido a los avances que se han conseguido en el desarrollo de la electrónica. En el campo de la industria antes se ejecutaban procesos de encendido y apagado mediante pulsadores mecánicos; ahora se pueden encontrar máquinas con niveles de tecnología bastante desarrollada con pantallas gráficas donde se observan los diferentes estados del proceso, control realimentado de variables de estado y en general procesos automatizados y con mucha flexibilidad a cambios debido a la implementación de algoritmos mediante software.



Figura 2. Sistema de curado UV de la empresa LCH, líder en el mercado peruano [28].

## 1.2 ENTORNO ESPECÍFICO

### 1.2.1 DEMANDA

El uso de las máquinas de curado ultravioleta se hace importante ya que, mediante ellas, se puede lograr el secado casi instantáneo de material impreso o barnizado (etiquetas de latas, pastas de cuadernos, anuncios impresos, etc.); para ello, se usan en el proceso tintas o barnices especiales que reaccionan con esta radiación [5]. Las características más resaltantes de los procesos por secado UV son:

- Mayor producción en un tiempo menor que procesos de secado convencionales como la aplicación de calor o llamado también secado por evaporación [2].

- Las características después del secado son aún mejores. Producen un terminado suave, duro y brillante que está normalmente mejor adherido al sustrato. El control del color es excepcional. El barniz produce un brillo incomparable [5].
- Menor espacio ocupado en la planta, ya que el material no necesita estar esperando a secarse si no que se apila directamente para ser entregado [5].
- Las tintas UV son normalmente estables en la fuente y en los rodillos sin agregar solventes. El uso de tinta es igual o menor ya que no hay evaporación, además no se secan en las placas o en las mallas. La prensa puede pararse para la reparación o mantenimiento por el fin de semana y todavía imprimir bien cuando se reinicia [5].

### 1.2.2 FABRICANTES

En la industria nacional existen empresas dedicadas a la construcción de máquinas para curado ultravioleta, las más conocidas se mencionan a continuación [6]:

- Disergraf LCH
- SERIBEC Internacional S.A.C.
- Visa Gráfica S.A.C.
- JBC Maquinarias E.I.R.L.
- Grafin Perú S.A.C

## 1.3 ENTORNO ORGANIZACIONAL

### 1.3.1 USUARIOS

Un túnel de curado ultravioleta es comúnmente usado luego de imprimir el material usando el método serigráfico o después de procesar el material impreso y seco por una máquina barnizadora UV. Los usuarios de estas máquinas son las diferentes empresas dedicadas a la impresión o, llamados también, imprentas. Existen también empresas dedicadas solo al rubro de acabados gráficos quienes aplican, entre varios tipos, el

acabado mediante barnizado UV. Entre los usuarios en nuestro país se pueden enlistar a [6]:

- Acabados Gráficos del Perú S.A.C.
- Corporación Bellagio Perú E.I.R.L.
- Printac S.A.C.
- Corporación gráfica Hude & Mihans Print S.A.C.
- Creatum Perú S.A.C.

### 1.3.2 TECNOLOGÍA

El desarrollo de la tecnología afecta a todas las áreas de la industria y la gráfica está siendo ampliamente beneficiada. Las máquinas de curado ultravioleta deben conseguir, además del objetivo mismo de lograr el proceso de secado, contar las horas de uso de las lámparas ultravioleta para estimar su eficiencia, poseer un control de refrigeración adecuado, contar con algún sistema preventivo contra incendios ante algún atasco de papel, contar con sistemas de ahorro de energía, entre otros detalles.

### 1.4 DECLARACION DE LA PROBLEMÁTICA

Es claro ya conocer el alcance de la tecnología en la industria gráfica donde los avances han logrado un aumento sustancial en la producción diaria. En el Perú, algunas empresas importan maquinaria gráfica, entre ellas hornos para curado ultravioleta que cumplen con altos estándares de calidad pero a precios bastante elevados, entre 8 000 y 10 000 dólares, además de existir riesgos de averías por el transporte ante la importación de las mismas y, por ende, costos de mantenimiento elevados. La alternativa subsecuente para reducir costos y conseguir mejores beneficios es la fabricación de estas máquinas en nuestro país, esto debido también al exponencial aumento de las empresas de servicio gráfico quienes hoy en día optan por comprar maquinaria de procedencia nacional, pues tiene un menor precio que bordea los 6000 dólares.

Se presenta específicamente a la empresa Creatum Perú S.A.C. prestadora de servicios de acabados gráficos que, con su experiencia de cerca de 10 años en el

campo, ha comenzado a fabricar máquinas para el curado UV con un soporte tecnológico aún básico que sólo se limita al encendido de lámparas, ventiladores y extractor de aire, la faja transportadora está controlada mediante un variador de frecuencia. Las máquinas fabricadas por esta empresa, no consiguen la eficiencia en consumo de corriente y cantidad de producción que otras máquinas fabricadas por empresas con más experiencia si logran. El anexo 1a presenta un esquema eléctrico del sistema actual proporcionado por la empresa y el anexo 1b presenta una imagen del tablero de control básico desarrollada por esta empresa.



## CAPITULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE SISTEMAS DE CURADO ULTRAVIOLETA

### 2.1. ESTADO DEL ARTE

#### 2.1.1. PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE INVESTIGACIÓN

Principalmente la técnica del secado o curado mediante radiación ultravioleta se aplican a procesos de impresión serigráfica y a acabados gráficos que implican el uso de barniz UV. Los resultados que se obtienen actualmente han sido posibles debido a la cooperación entre los productores de materia prima, los formuladores y fabricantes de secadores u hornos UV [2].

##### 2.1.1.1. VENTAJAS DEL CURADO ULTRAVIOLETA

El tratamiento UV (*curing*) ofrece una de las mejores soluciones técnicas para la impresión, cuando se requiere:

- Un proceso de secado instantáneo, que permite una productividad mayor unida a la posibilidad de inmediata elaboración sucesiva, como barnizar, impresión de película en caliente, corte, relieve, plegado, encolado, impresión láser, etc.
- Un fiable proceso de secado, que minimiza el riesgo de repintado y confiere a los impresos una mejor resistencia física y química, con un grado de brillo mejor respecto a otras tecnologías.
- Un proceso de secado ecológicamente más limpio, en cuanto a que ningún disolvente se descarga en la atmósfera durante el proceso de *curing*.
- Las tintas UV imprimen sobre cualquier tipo de sustrato. Plásticos, papeles, metales y telas en cualquier forma o en cualquier proceso de impresión.

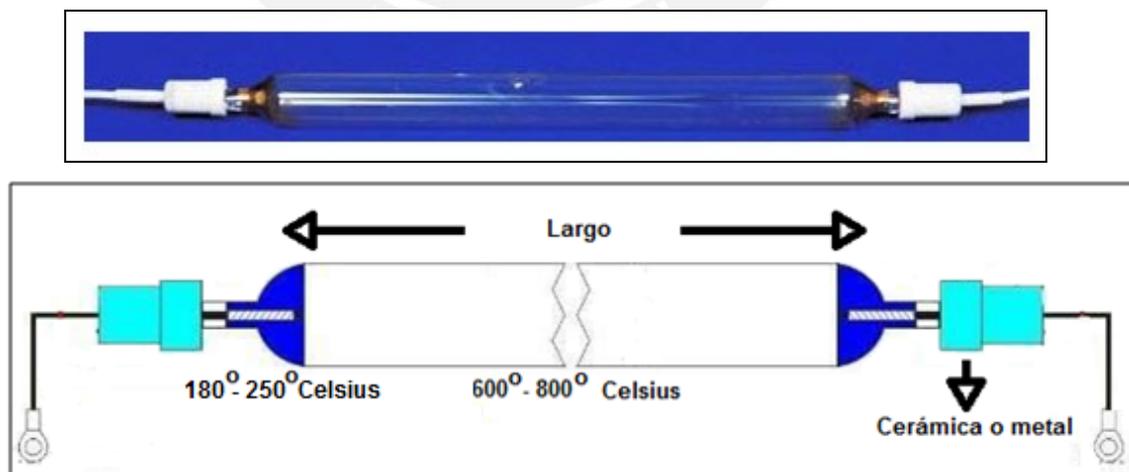
El empleo de tintas y tratamientos con polimerización UV está aún creciendo en algunos sectores de la impresión: Litografía offset (en pliego y bobina), *waterless offset*, flexografía, tipografía, serigrafía (rotativa y plana), barnizados en línea y fuera de línea. Combinaciones de todas estas aplicaciones están hoy presentes en las diferentes máquinas [2].

### **2.1.2. MÁQUINAS DE SECADO DE TINTAS Y BARNICES CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

Una de las máquinas más usadas en la industria gráfica es el horno o túnel de curado ultravioleta, algunas de las características se detallan a continuación:

#### **2.1.2.1. EL EMISOR UV**

Los emisores UV están compuestos de un tubo de cuarzo, en el interior del cual se encuentra mercurio en atmósfera inerte. El cuerpo de la lámpara está realizado de cuarzo de óptima calidad, que asegura una transparencia del 90% para la radiación UV. Este mismo cuarzo debe resistir a una temperatura superficial comprendida de 180 a 250 °C en los extremos y desde 600 a 800 °C en la parte central del bulbo, cuando la radiación UV llega a su máximo pico, es decir logra un curado óptimo. La dilatación, debido al calor, se debe minimizar para evitar daños al mismo emisor [2].



**Figura 3.** Lámparas de curado ultravioleta de alta presión de mercurio, ver anexo 2.

#### **2.1.2.2. DURACIÓN DE UNA LÁMPARA UV**

La lámpara UV de mercurio no se apaga de improviso, estas pueden funcionar durante cientos de horas. Aun así es posible observar una disminución de su eficacia con el tiempo. A una proximidad del mismo emisor, una lámpara UV puede dar la impresión de funcionamiento, pero emitiendo en realidad radiaciones en lo visible o infrarrojo. Un deterioro de la superficie de cuarzo puede filtrar una cuota de radiación UV y bajar la potencia [2].

La vida de una lámpara UV depende de los siguientes parámetros:

- Calidad de la misma lámpara
- Eficacia del sistema de refrigeración
- Limpieza del tubo
- Frecuencia del ciclo encendido/apagado

#### **2.1.2.3. CONTADOR DE HORAS DE FUNCIONAMIENTO: HORÓMETRO**

Normalmente se utilizan contadores para evaluar la duración de una lámpara y se aconseja un cambio regular de lámparas después de un cierto tiempo de funcionamiento que puede ser 1.000, 2.000 ó 3.000 horas, según las características de la lámpara [2].

#### **2.1.2.4. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN**

Como todas las lámparas, las que emiten radiación ultravioleta también emiten calor. El proceso del curado se consigue de una manera óptima cuando el largo de la longitud onda está comprendido entre los 180 y 380 nm [3]. Esto se puede obtener solamente calentando el vapor de mercurio de modo que se convierta en un plasma de alta temperatura. Para obtener un plasma estable, el cuerpo de la lámpara debe estar suficientemente caliente, con una temperatura superficial de la lámpara del orden de 600 y 800 °C en la zona media de la lámpara y entre 180 y 250 °C en la zona de los extremos [26]. Indistintamente de la temperatura que resiste el cuerpo de la lámpara UV, las partes circunstanciales (próximas) y la temperatura de la máquina se deben

mantener a niveles tolerables, para evitar daños del sistema por sobrecalentamiento de las piezas y del soporte (estabilidad dimensional). La calidad del sistema de refrigeración es muy importante, y por ello necesaria para guardar un correcto equilibrio en la máxima eficacia de *curing* [2]. Existen varias técnicas de refrigeración, y algunas de éstas no mantienen la justa temperatura, reduciendo la eficacia del *curing* y acortando la vida de la lámpara UV [2].

## **2.2. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.2.1. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES**

En un sistema automático, como los hornos UV diseñados en el extranjero, se busca principalmente aumentar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad, la calidad y la precisión, y disminuyendo los riesgos que normalmente se tendrían en la tarea si fuese realizada en forma manual. Prácticamente todas las industrias alrededor del mundo poseen al menos un básico sistema automático, lo cual significa que la automatización es un área que está permanentemente en contacto con nosotros. Los automatismos están compuestos de tres partes principales como son: la obtención de señales por parte de los sensores, el procesamiento de dichas señales realizado por los procesadores inteligentes y la ejecución de respuestas efectuadas por los actuadores. En la etapa del procesamiento de datos podemos mencionar a los PLC, computadoras industriales y microcontroladores [20]. Se presentan a continuación algunas tecnologías usadas en la automatización de máquinas industriales.

#### **2.2.1.1. AUTOMATISMOS CON COMPUTADORAS INDUSTRIALES**

En cualquier sistema automático, el método de detección de eventos durante el proceso es de suma importancia. Las computadoras son ampliamente utilizadas con esta finalidad gracias a que además de detectar los eventos, pueden generar reportes e informes almacenándolos en archivos para una posterior revisión. La instrumentación con computadores presenta ventajas sobre los demás sistemas de medición, ya que sus sistemas y tarjetas electrónicas de interface pueden ser configurados de acuerdo al tipo de variable física que se desea medir [20].

### **2.2.1.2. EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)**

Los Autómatas, también llamados PLCs (*Programmable Logic Controllers*), o Controladores Lógicos Programables, son dispositivos electrónicos de procesamiento que poseen entradas y salidas de diferentes tipos de señal. Su funcionamiento depende de un programa que se le ha introducido previamente, con el cual se ejecuta cierta secuencia en forma completamente automática. El programa se elabora a partir de unas reglas o condiciones que dependen del proceso en sí a automatizar y del tipo de señales que se deben manejar [20]. Entre los fabricantes más conocidos se pueden mencionar a:

- Siemens
- Allen Bradley
- Schneider Telemecanique
- GE Fanuc
- Honeywell
- Delta PLC

### **2.2.1.3. AUTOMATISMOS CON MICROCONTROLADORES**

Cuando no se tiene el presupuesto necesario para automatizar un proceso determinado o simplemente porque dicha aplicación no requiere de sistemas tan avanzados como son los PLCs, el sistema encargado del proceso puede ser un microcontrolador [20]. Con estos dispositivos es posible implementar desde sistemas automáticos sencillos hasta sistemas complejos. Todo depende de las características del proceso a automatizar [20]. La familia de microcontroladores PIC de la empresa Microchip y algunas de las familias de la empresa Atmel como son los Atmega, Xmega, etc. son los más usados.

## **2.2.2. TECNOLOGÍAS EN EL CONTROL DE TEMPERATURA**

### **2.2.2.1. CONTROL POR HISTÉRESIS: LÓGICA ON-OFF**

Un procedimiento muy utilizado en la industria para controlar la temperatura de un recinto cerrado es el control ON-OFF (todo-nada). En este tipo de control, al elemento

calefactor en el caso de un sistema de calentamiento o al elemento refrigerador en el caso de un sistema de refrigeración se le aplica toda o nada de la potencia total a diferencia del control continuo donde al elemento calefactor puede aplicarse infinitas potencias diferentes entre los límites anteriores [13]. La técnica de control todo-nada en una máquina de curado ultravioleta consiste en activar los ventiladores y extractores de aire cuando la temperatura del horno está por encima de un límite superior y desactivarlos cuando la temperatura está por debajo de un límite inferior. A esta diferencia de los límites se conoce como histéresis [13].

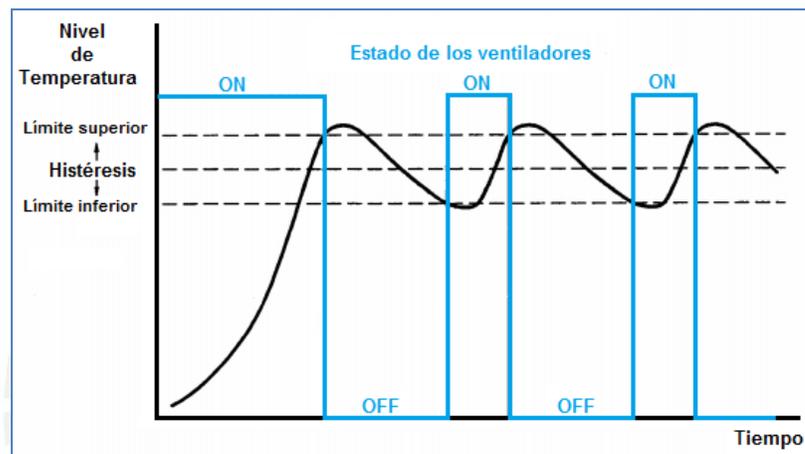


Figura 4. Control de temperatura por histéresis.

### 2.2.2.2. CONTROL PID

En la industria es común también encontrar procesos con controladores Proporcional-Integral-Derivativo. En este tipo de control la acción correctora es determinada por tres factores [14]:

- La magnitud del error. Esta es la parte proporcional.
- La integral con respecto al tiempo de la señal de error, en otras palabras la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha permanecido. Esta es la parte integral.

- La razón de tiempo de cambio del error, un rápido cambio en el error produce una acción correctora mayor que un cambio lento en el error. Esta es la parte derivativa.

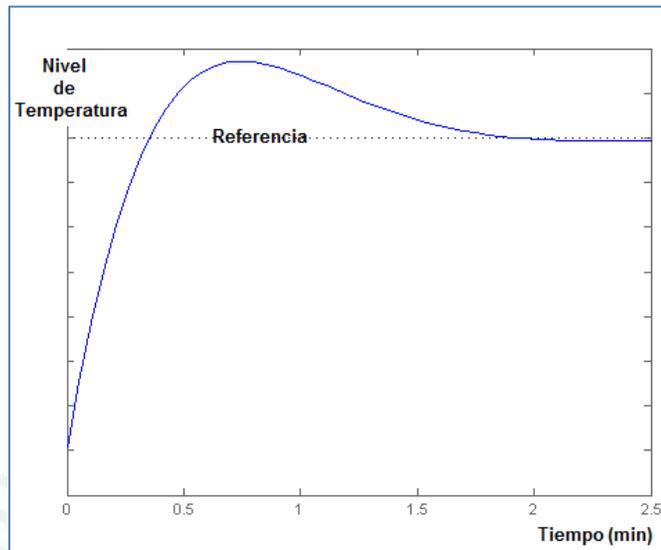


Figura 5. Control PID de temperatura.

### **2.2.3. TECNOLOGÍAS EN EL ACCIONAMIENTO DIGITAL DE CONTACTORES**

Existen procesos en la actualidad que usan pulsadores y la técnica de auto sostenimiento para activar contactores; por otro lado, los sistemas digitales, que operan con tensiones entre cero y cinco voltios, necesitan un acople entre la tensión de control y la tensión carga. Los modos más comunes de controlar cargas con circuitos digitales son mediante la activación de relés mecánicos y mediante los relés de estado sólido.

#### **2.2.3.1 ACCIONAMIENTO MEDIANTE RELÉS MECÁNICOS**

Los relés mecánicos son dispositivos controlados por un electroimán formado por una bobina que al activarse cierra o abre mecánicamente dos contactos (normalmente abiertos o cerrados) por donde puede circular corriente alterna o continua. Un circuito típico de control es el que se muestra en la figura 6.

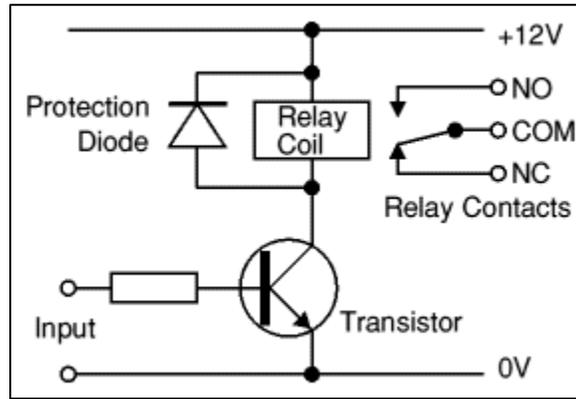


Figura 6. Circuito de control con relés mecánicos [19].

Un transistor en conmutación controla la circulación de corriente de la bobina del relé, este al activarse genera un campo magnético que atrae al contacto central haciendo posible una conducción eléctrica entre ellos. Debido a que un inductor almacena corriente, se coloca un diodo de protección para disipar la energía cuando el transistor entra al estado de corte [19].

### 2.2.3.2 ACCIONAMIENTO MEDIANTE RELÉS DE ESTADO SÓLIDO (SSR)

El relé de estado sólido (SSR) es un dispositivo electrónico que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida. La figura 7 muestra un circuito típico para la activación de contactores mediante un relé de estado sólido [17]:

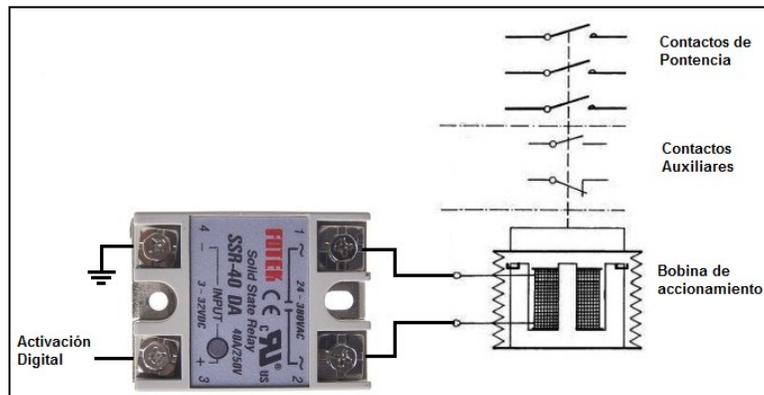


Figura 7. Conexión típica entre un SSR y un contactor [17].

## ESTRUCTURA INTERNA DEL SSR

El relé de estado sólido, en su estructura interna, está conformado por [17]:

- **Un Circuito de entrada:** Conformado por un diodo emisor de luz con corriente regulada por una resistencia de entrada.
- **Una etapa de Aislamiento:** La emisión de luz generada por la etapa de entrada incide sobre un optotriac.
- **Un detector de cruce por cero:** Un relé de estado sólido con función de paso por cero opera cuando la tensión de la carga (tensión alterna) se acerca o alcanza el punto cero. Los relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar tensiones bajas.
- **Una etapa de salida:** Salida CA con triacs, salida CC con transistor bipolar o MOS FET, salida CA-CC con transistor MOS FET (ya que tiene igual ganancia en directo que en inverso).
- **Una etapa de protección:** Comúnmente cuando el SSR controla cargas inductivas, se usan redes RC como protección.
- Se presenta un diagrama general de un relé de estado sólido:

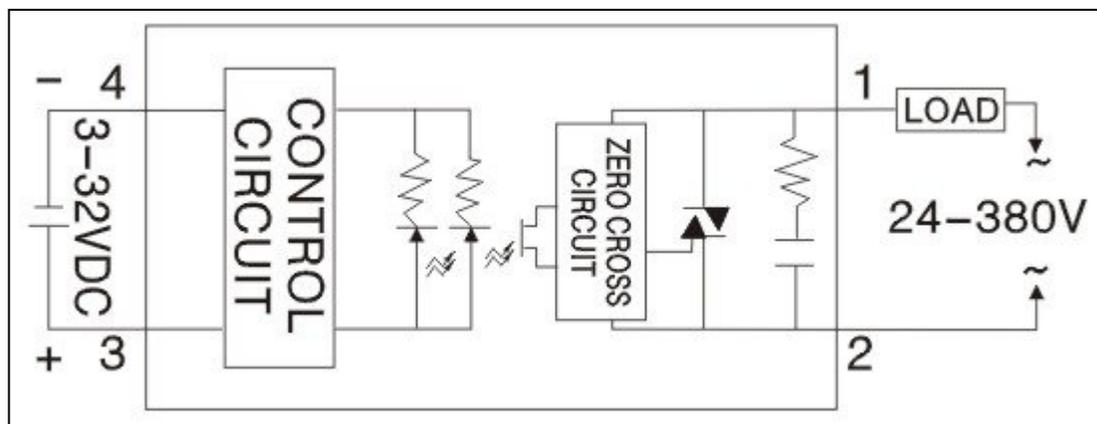


Figura 8. Diagrama interno de un SSR [18].

## **PROTECCIÓN CONTRA CARGAS INDUCTIVAS: RED SNUBBER RC**

Utilizando una red RC en paralelo con la salida del SSR se limita las variaciones bruscas de tensión, ya sean generadas por la misma red o por la apertura en el cero de corriente sobre una carga inductiva. Al colocar una red RC en la salida se limita el gradiente del voltaje respecto al tiempo, se limita también la amplitud de este impulso parásito por filtración. El mayor inconveniente de este tipo de filtro, es el importante aumento de la corriente de fuga del relé (puede doblar el valor de la corriente de fuga). En casi todos los casos los SSR disponen en general de filtros tipo RC [17].

El valor típico de un filtro RC es:

- Resistencia:  $33 \text{ ohmios} < R < 100 \text{ ohmios}$
- Capacidad:  $0,1 \text{ microfaradios} < C < 0,47 \text{ microfaradios}$

### **2.2.4. PROTECCIÓN ELÉCTRICA CONTRA TRANSITORIOS EN REDES INDUSTRIALES**

En toda aplicación de potencia pueden surgir condiciones anormales de funcionamiento que pueden originar cambios en las magnitudes de voltaje, corriente y frecuencia respecto de las magnitudes permisibles. Así las fallas en los sistemas de potencia controlados por sistemas electrónicos se pueden dar por transitorios en la línea eléctrica [23].

Para contrarrestar los diversos problemas de las máquinas de automatizadas, se presenta como alternativa a los filtros de línea.

#### **2.2.4.1 FILTROS DE LINEA**

Los sistemas de control que se basan en microcontroladores pueden funcionar erróneamente debido a la existencia de ruidos conducidos y radiados, sobre todo en entornos industriales.

## **RUIDOS CONDUCIDOS**

Son aquellos que se propagan por conducción galvánica entre la fuente de ruido y el dispositivo interferido; es decir, conducción de corriente eléctrica entre ambos. Este tipo de ruido es la causa más común de mal funcionamiento en los sistemas con microcontroladores e ingresan al mismo principalmente por la alimentación del sistema, por entradas conectadas a sensores remotos, por interfaces de comunicación mediante cables de gran recorrido y por pines no usados en el circuito. Generadores típicos de este tipo de ruido son cargas inductivas, contactores eléctricos, relés, alternadores de automóviles, sistemas de ignición, solenoides, motores eléctricos de escobillas, etc.

El ruido se presenta como un fuerte aumento de la tensión en el punto interferido, con una pendiente sumamente abrupta, en forma de picos, por lo general, de no más de un par de microsegundos del ancho del pulso, pero con tensiones superiores a los 200V sobre el nivel eléctrico normal del punto interferido [24].

## **RUIDOS RADIADOS**

Son los ruidos que se propagan por medio de ondas electromagnéticas, o bien por la acción de campos eléctricos inducidos, o sea no existe contacto galvánico alguno entre la fuente de ruido y el sistema interferido. Por lo general, son los menos frecuentes en el mal funcionamiento de los sistemas con microcontroladores, pero no por ello son los menos importantes.

Generadores típicos de este tipo de ruidos son los sistemas de ignición en automóviles, arcos voltaicos en contactores o relés con cargas inductivas, motores a escobillas, etapas de salida de RF, circuitos osciladores del propio MCU. Estos ruidos presentan menor intensidad energética que los conducidos, por lo que rara vez provocan la disfunción total del microcontrolador, pero al tener una naturaleza del tipo “inducidos”, su eliminación o disminución es más complicada [24].

Existen filtros comerciales EMI/RFI basados en dispositivos como bobinas y condensadores. Estos contrarrestan los picos de corriente y disminuyen el ruido electromagnético que se filtran por las líneas de alimentación [25].

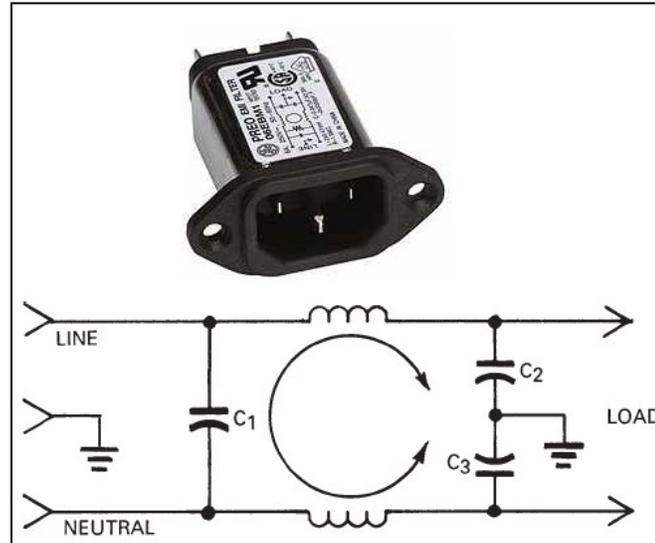


Figura 9. Filtros de línea comerciales [25].

## 2.2.5. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN LA INDUSTRIA

Actualmente los sistemas automatizados con tecnología inalámbrica están teniendo una amplia aceptación y gran desempeño en todos los sectores de la industria, dado que los beneficios de esta tecnología son claros desde el punto de vista de la eficiencia; es decir, ahorro de cableado, posibilidad de comunicarse con equipos de difícil acceso, flexibilidad en la instalación, confiabilidad, reducción del número de paradas no deseadas por fallos de comunicaciones, entre otros aspectos. En cuanto a las tecnologías inalámbricas se pueden destacar las redes que pertenecen al protocolo IEEE 802.15, las cuales son redes de área personal o Wireless Personal Area Networks (WPAN), que incluyen a las tecnologías Bluetooth y ZigBee.

### 2.2.5.1. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ZIGBEE

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance, opera en las bandas libres ISM (*Industrial, Scientific & Medical*) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos). Es conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante [15], además esta tecnología solo puede alcanzar una tasa de 20 a 250Kbps en un rango de 10 a 75 metros [16].

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*wireless personal area network, WPAN*) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías [15]. El mercado para las redes ZigBee comprende una amplia variedad de aplicaciones. En la actualidad un gran número de las compañías que forman parte de la ZigBee Alliance se encuentran desarrollando productos que van desde electrodomésticos hasta teléfonos celulares, impulsando el área que más les interesa. Hay que tener en cuenta que ZigBee está diseñado para aplicaciones que transmiten unos cuantos bytes esporádicamente, que es el caso de una aplicación para automatizar el hogar (domótica). Al usar esta tecnología no habría la necesidad de cablear los interruptores, los cuales podrían ser cambiados de un lugar a otro con plena libertad, pudiendo por ejemplo, prender o apagar las luces de una casa a través de Internet o utilizando un teléfono celular en cualquier momento [15].

#### **2.2.5.2. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN BLUETOOTH**

Bluetooth es un estándar concebido para establecer conexiones sin hilos de corto alcance entre un amplio número de dispositivos electrónicos, fijos y móviles. El rango de alcance puede llegar hasta 10 metros para dispositivos Bluetooth de clase 2 y hasta 100 metros de dispositivos de clase 1. Esta tecnología funciona a través de minúsculos y baratos transmisores y receptores radio de alta frecuencia, baja potencia [11] y se implementan en un pequeño circuito integrado que es usado en teléfonos móviles, ordenadores personales y ahora también en módulos como el HC-06 aplicados para la industria [12]. La banda de radiofrecuencia utilizada es la de 2,45 GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*); en concreto las frecuencias entre 2.400 y 2.483,5 MHz en Estados Unidos y Europa (sólo parte de esta banda está disponible en España y Francia), y entre 2.471 y 2.497 MHz en Japón. La banda de 2,45 GHz ISM está, por lo tanto, disponible prácticamente en todo el mundo sin necesidad de licencia. El ancho de banda de los canales dentro de la banda ISM es de 1 MHz, es decir, se soportan hasta 79 canales (23 en Japón) de radiofrecuencia; y se utiliza modulación binaria por desplazamiento en frecuencia o FSK (*Frequency Shift Keying*) [9].

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA MÁQUINAS DE CURADO ULTRAVIOLETA ORIENTADOS A LA INDUSTRIA GRÁFICA**

### **3.1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES**

#### **3.1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general de la presente tesis es lograr la automatización de los procesos realizados por una máquina de curado ultravioleta fabricadas en pequeñas empresas como la peruana CREATUM PERU S.A.C., haciendo uso de soluciones de bajo costo y teniendo en cuenta un diseño simple y amigable para que cualquier operario de la empresa pueda manipularlo.

##### **3.1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos se muestran a continuación:

- a) Implementar un sistema de control para la refrigeración de las lámparas UV para conseguir un incremento en la eficiencia de producción y contribuir con el ahorro de energía de la máquina.
- b) Automatizar la secuencia de encendido inicial de las lámparas ultravioleta y controlar el proceso de apagado y de parada de emergencia.
- c) Elaborar un tablero con una interfaz personalizada donde el circuito de control debe de tener un revestimiento apantallado que evite susceptibilidad al ruido.
- d) Dotar de control Inalámbrico a la máquina de curado ultravioleta para cumplir con las exigencias de los operarios.

### **3.1.2 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN**

#### **3.1.2.1. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE**

##### **ENTRADAS**

El panel deberá controlar en absoluto al sistema (ver anexo 1):

1. Control manual del extractor y ventiladores
2. Control manual de las potencias aplicadas a la lámpara ultravioleta
3. Control de velocidad del variador de frecuencia
4. Parada de emergencia
5. Botón de encendido
6. Incremento y decremento de temperatura de la cámara de curado

##### **SALIDAS**

La etapa de potencia deberá ser capaz de (ver anexo 1):

1. Controlar hasta 10 contactores
2. Controlar hasta 5 entradas del variador de frecuencia
3. Visualizar variables del sistema (frecuencia del variador, horas de funcionamiento de la lámpara UV y temperatura de la cámara de refrigeración)

##### **INDICADORES**

1. El teclado deberá mostrar indicadores luminosos y/o sonoros ante presión de botones.
2. La etapa de potencia deberá poseer un indicador luminoso ante la activación de alguna salida de control (contactor o control del variador)

##### **ALIMENTACIÓN**

1. El equipo deberá trabajar con una tensión de alimentación de 220V

## **COMUNICACIONES**

1. El sistema de control inalámbrico con un rango de alcance omnidireccional de 5 metros como distancia mínima.
2. Control remoto debe controlar en su totalidad al equipo

### **3.1.2.2. REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE**

La interfaz visual deberá considerar:

1. Visualización de la frecuencia del variador con resolución mínima de 0.1 Hz además del estado actual (parado/ en marcha).
2. Visualización del tiempo de funcionamiento de las lámparas UV (resolución 1 Hora, máximo rango de 9999 horas, error +/- 5 Horas).
3. Visualización de la temperatura de la cámara de curado

El procedimiento ante una eventual parada de emergencia o un apagado del sistema normal deberá considerar:

1. Mantener a salvo la malla transportadora, es decir no detenerla
2. Evitar el encendido de las lámparas durante 5 minutos

El procedimiento para encender la lámpara UV debe considerar:

1. Una secuencia de encendido automática; es decir, encender la cámara hasta obtener la temperatura adecuada.
2. Un modo manual de encendido; es decir, el usuario podrá controlar los diferentes niveles de potencia de la lámpara así como la ventilación de la cámara.

### 3.1.3 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Se presenta un diagrama de bloques general del sistema automatizado.

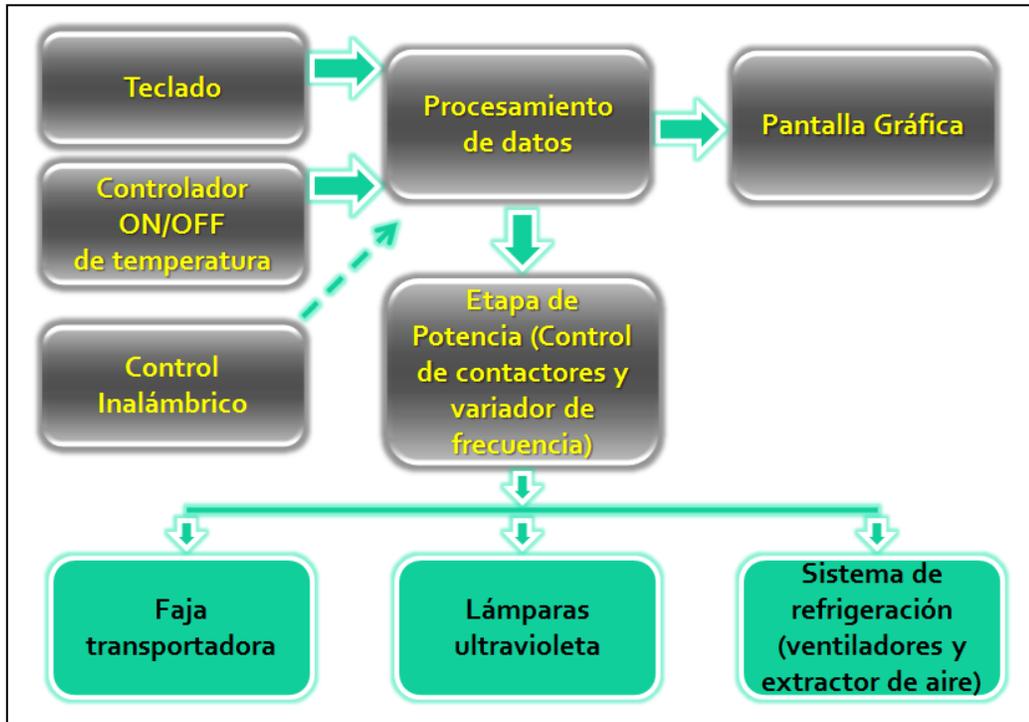


Figura 10. Diagrama de bloques del sistema de automatización.

### 3.2. SELECCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

La automatización del proceso en la presente tesis, basa su diseño en elementos que guarden una estrecha relación entre el costo y el beneficio que pueden otorgar. Según esta premisa, se elige implementar un sistema de automatización basado en un microcontrolador por el menor costo en relación a los PLC y los automatismos con computadoras industriales. Existen entornos de desarrollo preparados como la placa de desarrollo Arduino.

### 3.2.1. LA PLACA DE DESARROLLO ARDUINO

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. La placa Arduino, basada en un microcontrolador de la empresa Atmel, se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en *Wiring*) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en *Processing*) [21].

**Tabla 1.** Tabla comparativa entre placas de desarrollo con microcontroladores.

	Número de puertos de entrada / salida	Memoria flash	Velocidad del procesador	Precio (Nuevos Soles)
Circuito de control basado en un PIC 18F4550	34	32KB	Hasta 48Mhz	Aprox. 60.00
Circuito de control basado en un Atmega32	32	32KB	Hasta 16Mhz	Aprox. 60.00
Placa de desarrollo Arduino	51	256KB	Hasta 16MhZ	60.00

Las placas pueden ser fabricadas manualmente o compradas ensamblados en fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, de esta manera se puede adaptar a las necesidades [21].

Los precios mostrados en la tabla 1, incluyen todos los costos (incluyendo gastos de importación) de los componentes necesarios para implementar una placa de desarrollo (microcontrolador, cristal de cuarzo, resistencias, placa impresa, etc.). De acuerdo con

esto la mejor alternativa para el sistema de automatización se basaría en la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560, debido a que posee mayor número de entradas y salidas, mayor memoria flash a un precio similar a las otras alternativas. Se considera también que la placa de desarrollo Arduino está lista para ser usada, lo que reduce los tiempos de implementación del proyecto.

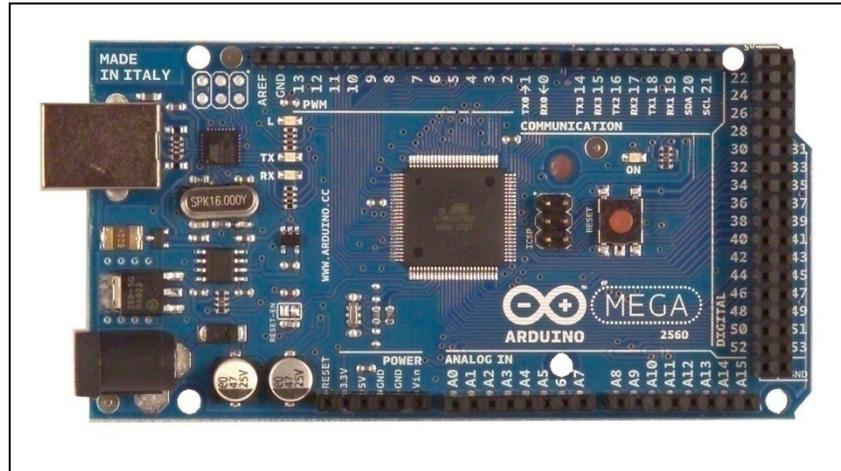


Figura 11. La placa de desarrollo Arduino Mega 2560.

### 3.3. SELECCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA

De acuerdo a las especificaciones del fabricante de la lámpara UV (ver anexo 2), la superficie de la lámpara deberá estar, en la parte central del bulbo, entre 600 °C y 800 °C y los extremos hasta un máximo de 250° C para obtener una longitud de onda idónea para el curado UV.

No es posible colocar algún instrumento de medición sobre la superficie de la lámpara porque podría quebrar el cristal. De acuerdo a los requerimientos del sistema se procede en este caso a la medición de la cámara de refrigeración. Debido al amplio rango permisible en el cual la lámpara de curado UV puede trabajar idóneamente (200 °C de rango según el párrafo anterior), se elige un control de temperatura mediante histéresis, siendo idóneo un control ON/OFF de temperatura.

Para este objetivo se puede optar por un controlador industrial de bajo costo, específicamente el controlador REX-C100FK02-.M\*AN (véase el anexo 3).



**Figura 12.** Controlador industrial REX-C100FK02-.M\*AN.

Las principales características se resumen en la tabla 2.

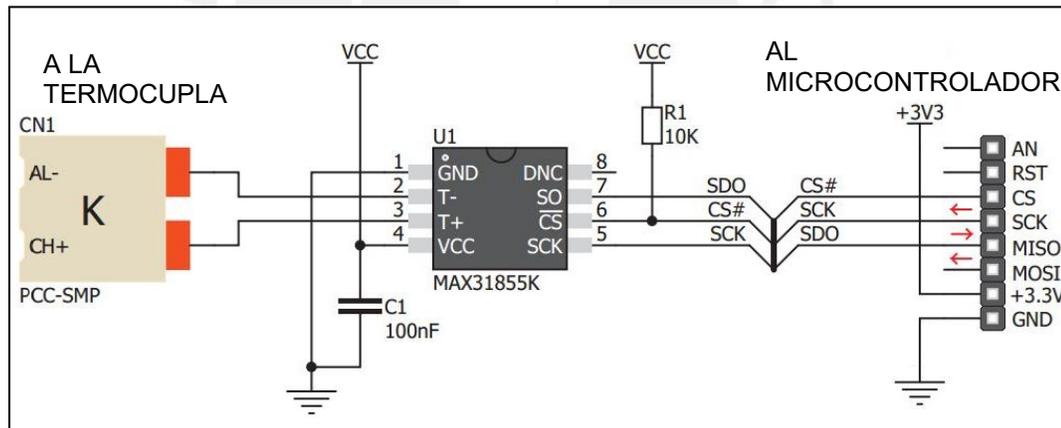
**Tabla 2.** Tabla de características del controlador industrial REX-C100FK02-.M\*AN.

Característica	Descripción
Precisión	$\pm 2^{\circ} \text{ C}$
Resolución	$1^{\circ} \text{ C}$
Rango	$0^{\circ} \sim 400^{\circ} \text{ C}$
Tipo de sensor	Termocupla – RTD
Resolución	14 bits
Tiempo de muestreo	0.5 segundos
Alimentación	85-265VAC
Control	ON/OFF, PID discreto
Tipo de salida	Relé
Temperatura de operación	$0 \sim 50^{\circ} \text{ C}$
Precio	~40 Nuevos Soles

Otra alternativa para medir la temperatura considera usar el circuito integrado MAX31885. Sus principales características son presentadas en la tabla 3. La figura 13 muestra la conexión física entre la termocupla y algún controlador mediante comunicación SPI.

**Tabla 3.** Tabla de características del circuito integrado MAX31885.

Característica	Descripción
Precisión	$\pm 2^\circ \text{ C}$
Resolución	$0.25^\circ \text{ C}$
Rango	$-200^\circ \sim 1350^\circ \text{ C}$
Tipo de sensor	Termocupla
Resolución	14 bits
Alimentación	3.3VDC
Temperatura de operación	$0 \sim 50^\circ \text{ C}$
Comunicación externa	SPI
Precio	~40 Nuevos Soles



**Figura 13.** Diagrama de interconexión entre el max31885 y un microcontrolador.

Según los requerimientos del sistema, el costo de ambas alternativas es parecido. Debido a que el controlador REX C-100 ya posee algoritmos de control implementados, lo que significa un ahorro en la mano de obra, se opta por esta elegir esta solución. Esto considera también menor carga de procesamiento para el microcontrolador, debido a que solo sensorará una señal proveniente del controlador REX C-100 y no una trama de datos mediante comunicación SPI en caso de usarse el MAX31855K.



### 3.4. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL ACCIONAMIENTO DE CONTACTORES

De acuerdo a la investigación previa realizada, para selección de la tecnología de activación de los contactores descritos en el anexo 1, se analiza la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Comparación entre el relé mecánico y el SSR [17].

	Ventajas	Desventajas
<b>Relés de estado Sólido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gran resistencia a choques y vibraciones</li> <li>➤ No ocasionan arcos ni rebotes al no existir partes móviles</li> <li>➤ Vida de trabajo infinita</li> <li>➤ Frecuencia de conmutación elevada</li> <li>➤ Funcionamiento silencioso</li> <li>➤ Control a baja tensión, compatible TTL/CMOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Circuito de entrada sensible a perturbaciones</li> <li>➤ Necesidad de elementos de protección externos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disipadores de Calor</li> <li>✓ Redes de protección</li> </ul> </li> <li>➤ Sensibles a temperatura y sobretensiones</li> <li>➤ No inducen ruido electromagnético</li> </ul>
<b>Relés electromagnéticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Económicos en consumo</li> <li>➤ Reducción de dimensiones en aplicaciones de conmutación a baja potencia</li> <li>➤ Gran número de contactos</li> <li>➤ Control indistinto CA/CC</li> <li>➤ Tecnológica y conceptualmente muy evidentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ruido mecánico</li> <li>➤ Dimensiones considerables en aplicaciones de control de potencia</li> <li>➤ Presencia de chispas, arco y rebotes, induce ruido electromagnético</li> <li>➤ Frecuencia de conmutación baja</li> <li>➤ Vida útil baja en comparación a los SSR</li> </ul>

Una de las principales ventajas de los SSR respecto de los relés electromagnéticos es la frecuencia de conmutación entre un estado y otro, al tener un principio de funcionamiento mecánico, los relés tienen un menor tiempo de vida. Por otro lado los SSR no inducen ruido electromagnético que puede interferir en los circuitos digitales de control.

### 3.5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA PARA LA ACTIVACIÓN DE CONTACTORES BASADO EN TRIACS Y CONTROL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

#### 3.5.1 DISEÑO DE UN SSR DISCRETO BASADO EN TRIACS

Diseñar un relé de estado sólido con dispositivos electrónicos discretos reduce el costo de implementación del sistema de automatización, para ello se plantea el diseño de un SSR que se muestra a continuación.

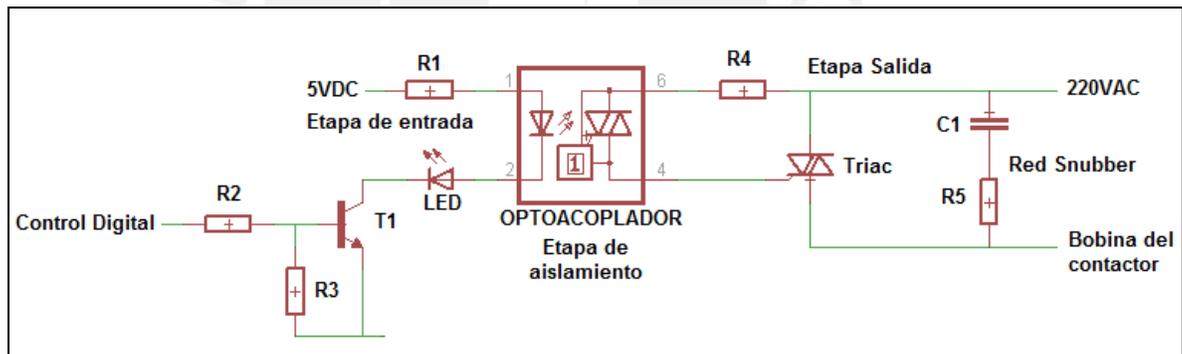


Figura 15. Diseño de un SSR discreto [18].

Creatum Perú S.A.C. usa, en la fabricación de diferentes máquinas, contactores de hasta 40 amperios que necesitan aproximadamente una corriente de 0.5 amperios para cerrar sus contactos. Se elige el triac de código BTA16, que soporta hasta 16 amperios aunque existen triacs de menor corriente como el BTA04, de 4 amperios, cuyo costo difiere del anterior en unos centavos de dólar [25].

El optoacoplador elegido es el MOC3041 que, según sus especificaciones, debe conducir una corriente de al menos 15mA entre sus pines 1 y 2. Las resistencias de la etapa de entrada se calculan de la siguiente manera:

$$R1 = \frac{5V - V_{led-moc} - V_{led-indicador} - 0.2V}{15mA} = 100 \Omega$$

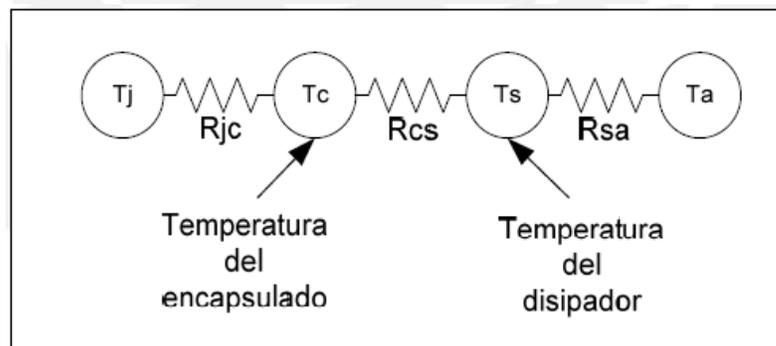
$$V_{led-moc} = 1.3V \quad V_{led-indicador} = 2V$$

En la figura 15, T1 es un transistor de propósito general con código 2N3904,  $R2 = 2.8 K\Omega$  para cumplir con la condición de saturación forzando la relación entre la corriente de colector y la base a 10,  $R3 = 10 K\Omega$  para asegurar la condición de corte ante corrientes parásitas, y finalmente  $R4 = 360 K\Omega$  es un valor sugerido por el fabricante del MOC3041.

Para la red de protección conformada por el condensador C1 es  $0.01 \mu F$  y la resistencia R5 es  $39 \Omega$  se usó los valores que el fabricante del MOC3041 recomienda.

### 3.5.1.1. DISIPACION DE CALOR

La temperatura de los dispositivos de potencia como el triac es importante para determinar su funcionamiento idóneo. Por este motivo se realiza un análisis del flujo de calor triac para determinar, de ser necesario, el tamaño del disipador de calor. El modelo térmico para un encapsulado y disipador es el siguiente [26]:



**Figura 16.** Modelo teórico de disipación de calor [26].

Donde:

**Tj:** Temperatura de la junta

**Tc:** Temperatura del encapsulado

**Ts:** Temperatura del disipador

**Ta:** Temperatura de ambiente

**R<sub>jc</sub>**: Resistencia térmica de la juntura al encapsulado

**R<sub>cs</sub>**: Resistencia térmica de la cápsula al disipador

**R<sub>sa</sub>**: Resistencia térmica del disipador (incógnita)

El valor de R<sub>ja</sub>=60 °C/W y T<sub>j</sub> = 125°C se obtienen de la hoja técnica de fabricantes. Según esto la máxima que puede disipar el relé de estado sólido sin necesidad de usar un disipador de calor:

$$P_{Dmax} = \frac{T_{jmax} - T_{ambiente}}{R_{ja}} = \frac{125^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{60\text{ }^{\circ}\text{C/W}} = 1.66\text{W}$$

Según la hoja de datos, para una corriente de 1 amperio (superior a la corriente necesaria para activar la bobina de un contactor), el triac fija en sus terminales de potencia 1.4 voltios, por tanto disipa 1.4W, valor inferior al calculado anteriormente; por lo tanto, no es necesario usar disipadores de calor.

### 3.5.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL PARA LAS ENTRADAS MULTIPROPOSITO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

La placa para el circuito que controlará los contactores lleva consigo también un circuito para el control de las entradas del variador de frecuencia. La figura 17 muestra a la conexión recomendada por el fabricante del variador de frecuencia para las entradas. Mediante el optoacoplador interno se puede aproximar corriente aproximada de circulación entre 3 mA y 4 mA.

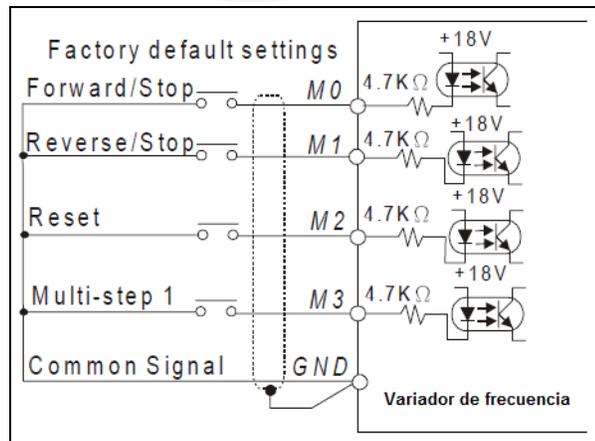
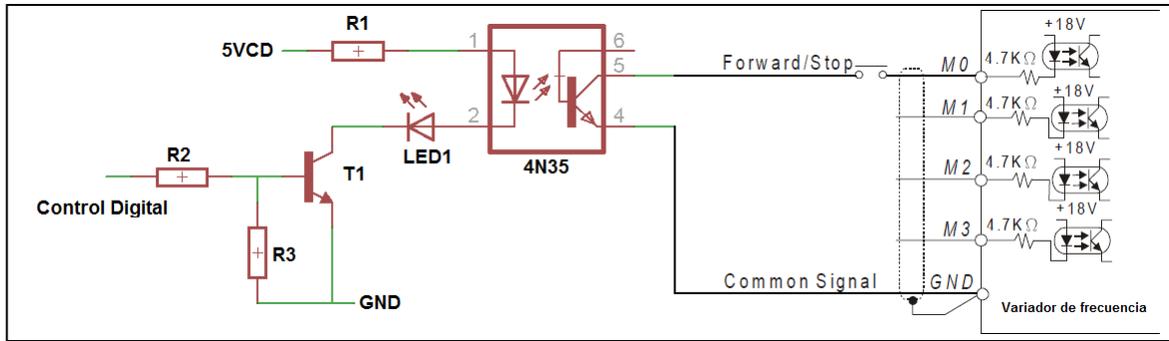


Figura 17. Entradas multipropósito del Variador de frecuencia [22].



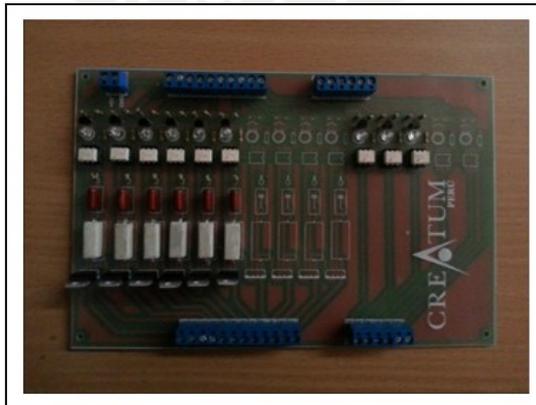
**Figura 18.** Diseño del control para las entradas del variador de frecuencia.

Se usa el optoacoplador 4N35 y de acuerdo a su hoja técnica, para lograr una conducción de 4mA entre el emisor y colector del fototransistor, por los pines 1 y 2 deberá circular una corriente de aproximadamente 4mA, esto considera también un CTR aproximado del 100%. Entonces,

$$R1 = \frac{5V - V_{led-4N35} - V_{led-indicador} - 0.2V}{4mA} = 375 \Omega$$

$$V_{led-moc} = 1V \quad V_{led-indicador} = 2V$$

En la figura 18, T1 es un transistor de propósito general con código 2N3904,  $R2 = 9 K\Omega$  para cumplir con la condición de saturación forzando la relación entre la corriente de colector y la base a 10,  $R3 = 10 K\Omega$  para asegurar la condición de corte ante corrientes parásitas.



**Figura 19.** Placa de potencia, para 6 contactores y 3 entradas del variador Delta.

Con los cálculos determinados se diseña una placa de potencia para controlar 5 entradas de un variador de frecuencia y hasta 10 contactores (corriente de consumo máximo de esta etapa igual a 190mA aprox.), por requerimiento del cliente para futuras máquinas con mayores aplicaciones.

En la figura 19 se observa el circuito físico de la placa de potencia. El túnel de curado UV, según el anexo 1, solo requiere manejar 6 contactores, además de 3 entradas del variador de frecuencia (*run/stop, up frequency, down frequency*).

### 3.6. CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA DELTA

Las entradas multipropósito del variador de frecuencia Delta, serán configuradas según su manual de usuario.

**Tabla 5.** Manual de configuración de las entradas del variador de frecuencia [22].

Parameters	Functions	Settings	Factory setting
4-04	Multi-function input terminal1 (M1) (d 0~d 20)	0: not used 1: M0: FWD/STOP, M1: REV/STOP 2: M0: RUN/STOP, M1: FWD/REV	1
4-05	Multi-function input terminal 2(M2)	3: M0, M1, M2: 3-wire operation control mode	6
4-06	Multi-function input terminal 3(M3) (d 0, d 4~d 20)	4: External fault, normally open (N.O.) 5: External fault, normally closed (N.C.) 6: RESET 7: multi-step speed command 1 8: multi-step speed command 2 9: jog operation 10: accel/decel speed inhibit 11: first or second accel/decel time selection 12: base-block (B.B.),normally open (N.O.) 13: base-block (B.B.),normally closed (N.C) 14: increase master freq. 15: decrease master freq. 16: run PLC program 17: pause PLC 18: counter trigger signal 19: counter reset 20: select ACI/deselect AVI	7

De acuerdo a la tabla anterior, el parámetro 4-04 debe ser configurado con el valor 2, de esa manera M0 activará y detendrá la faja transportadora. Los parámetro 4-05 y

4-06 deberán ser configurados con las opciones 14 y 15 para subir y bajar la velocidad respectivamente.

Según las especificaciones técnicas del variador de velocidad, sus incrementos de frecuencia son de 0.1 Hertz, de esta manera se cumple con el requerimiento de resolución para el control de la frecuencia del variador.

### 3.7. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN

Se tienen dos alternativas de control inalámbrico de los cuales queda descartado el control por infrarrojos debido a que el operario trabajará en constante movimiento lo que ocasionará que no siempre esté ubicado de manera visible con el receptor infrarrojo.

En cuanto al tipo de comunicación mediante ondas de radiofrecuencia, se hace un cuadro comparativo entre los protocolos Bluetooth y Zigbee.

**Tabla 6.** Tabla comparativa entre el protocolo Bluetooth y el Zigbee.

Protocolo	Zigbee	Bluetooth
Rango de alcance	10-100m	10-100m
Frecuencia de operación	868 MHz (Europe) 900-928 MHz (NA), 2.4 GHz (worldwide)	2.4Ghz
Soporte en dispositivos móviles	En surgimiento	Cerca del 100%
Consumo de batería	Muy baja, puede durar años	Mediana, unos cuantos días
Seguridad	128AES	64 y 128 encriptación
Aplicaciones típicas	Control industrial, redes con sensores, etc.	Conexión entre dispositivos como teléfonos, tabletas, etc.
Precio	Aprox. 15 dólares	Aprox. 10 dólares

Ambos protocolos poseen prestaciones parecidas, se descarta la diferencia del consumo energético pues no se trabajará con baterías. Por otro lado el protocolo Bluetooth es parte de muchos dispositivos portátiles como tabletas, *netbooks*, celulares, etc. Para aprovechar la potencia de estos dispositivos móviles en el sistema de automatización, se elige la tecnología Bluetooth. Para ello se desarrolla una aplicación en el sistema operativo Android. Específicamente se elige el módulo Bluetooth HC-05 por su bajo costo y su fácil implementación ya que solo necesita comunicación serie para enviar datos.

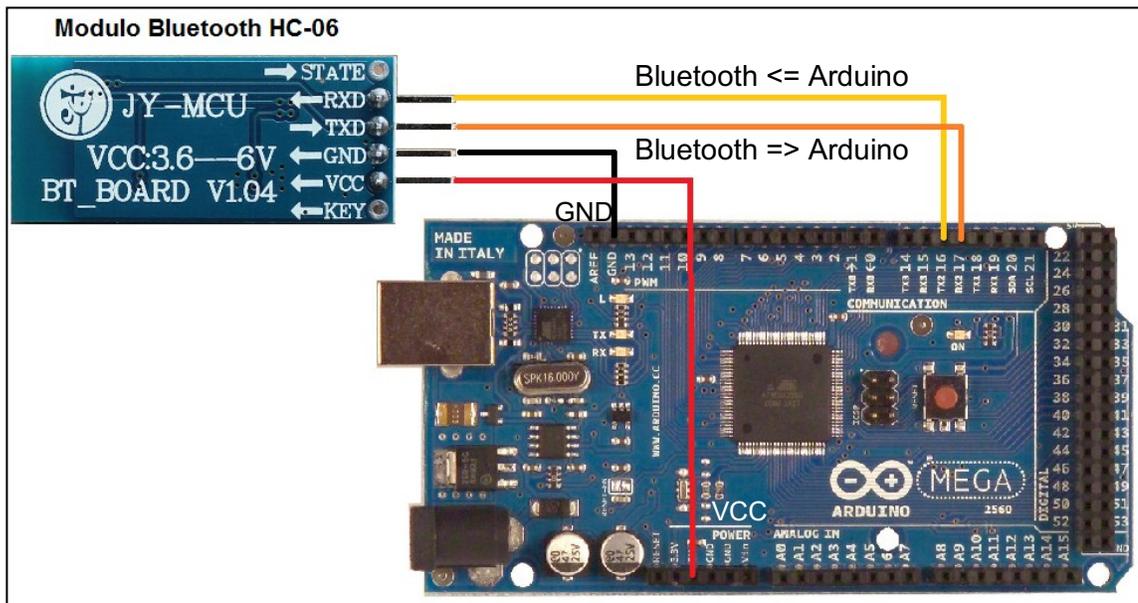


Figura 20. Conexión del módulo Bluetooth HC-06 y el Arduino mega 2560 [22].

### 3.8. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO

#### 3.8.1. ELABORACIÓN DE UN TECLADO DE MEMBRANA PERSONALIZADO

##### 3.8.1.1. DISEÑO GRÁFICO DEL TECLADO DE MEMBRANA

De acuerdo a los requerimientos del sistema, se diseña el arte del teclado de membrana con las rotulaciones correspondientes. Los botones de potencia de lámpara y del sistema de enfriamiento poseen un led indicador en la parte derecha. El operario podrá saber si el botón está activo o no con la iluminación de estos leds.



Figura 21. Diseño gráfico del teclado de membrana.

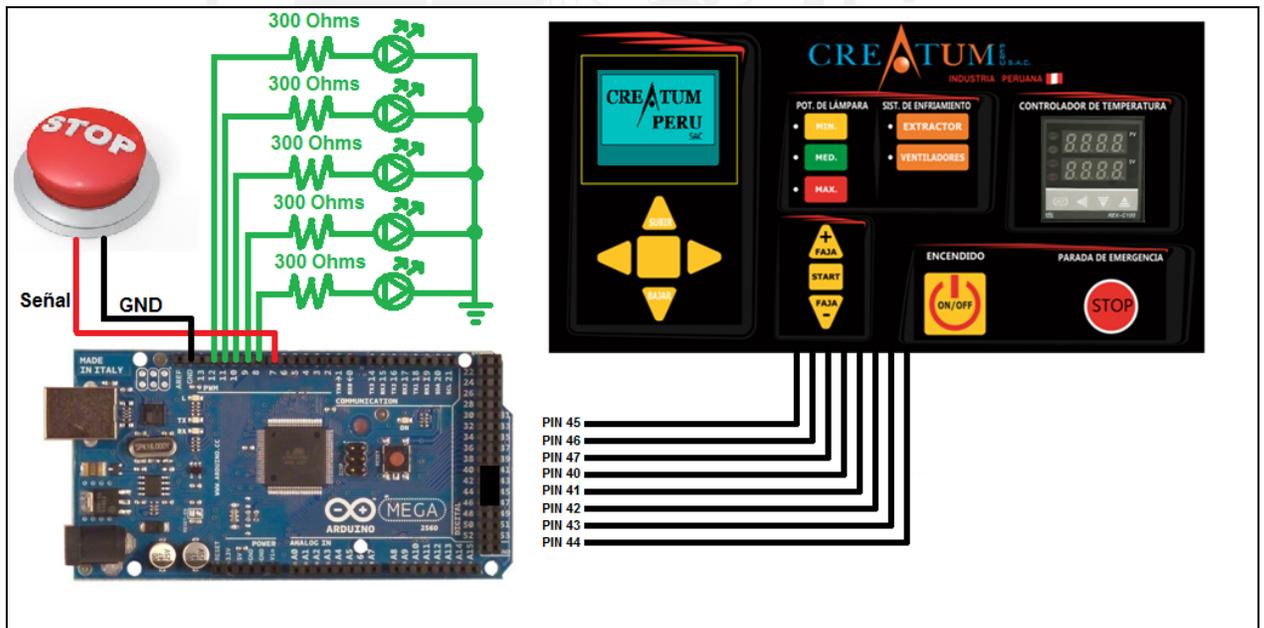
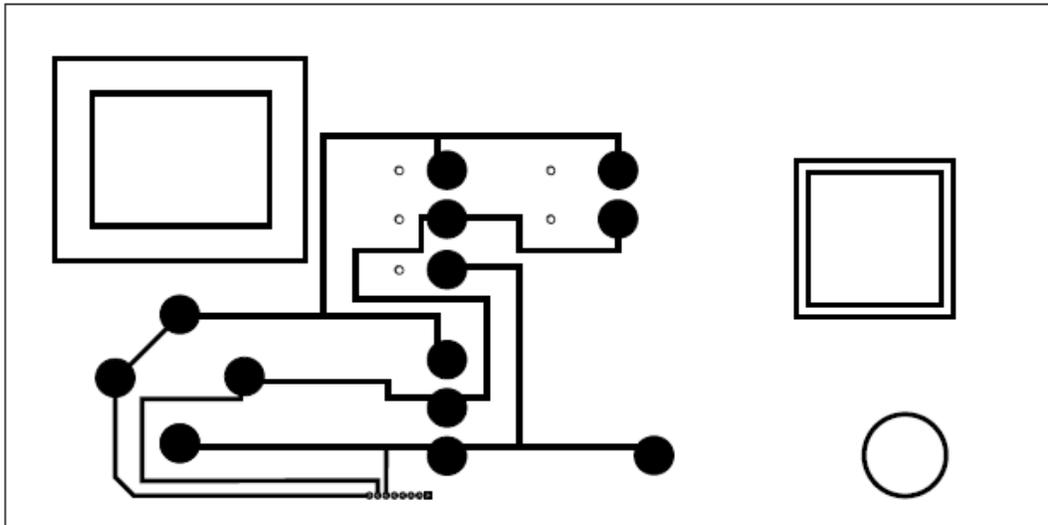


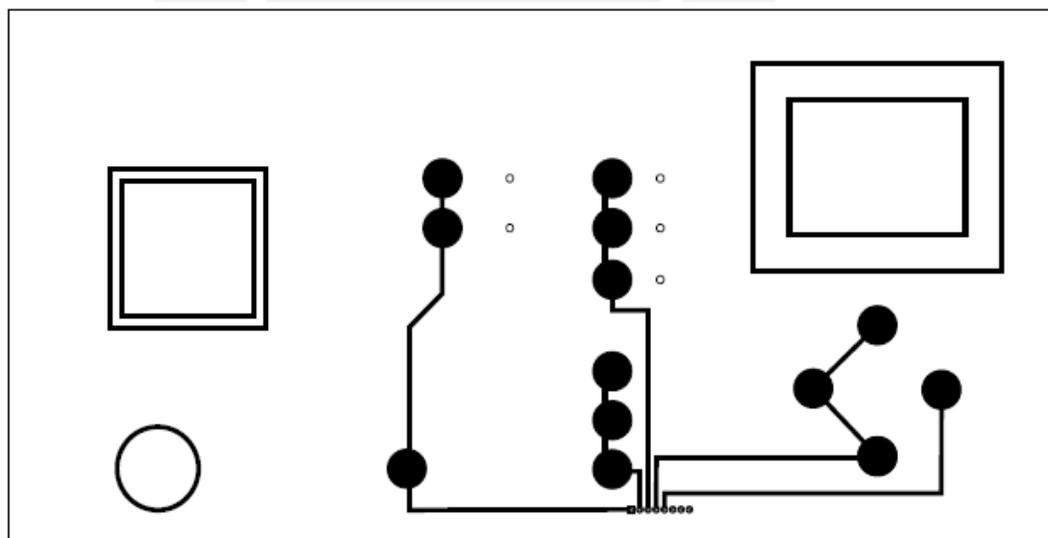
Figura 22. Conexión física entre los leds y el teclado de membrana.

### 3.8.1.2. DISEÑO DE LA PLACA DEL TECLADO DE MEMBRANA

El diseño de las pistas o rutas del teclado de membrana se trabaja sobre el material llamado piralux, que es una lámina flexible de fibra de vidrio con capas de cobre en ambas caras. A continuación se presentan las dos capas internas del teclado, ambas se sobrepondrán separados por una película de plástico.



**Figura 23a.** Diseño gráfico de las pistas del teclado de membrana matricial de 4x5, cara superior.



**Figura 23b.** Diseño gráfico de las pistas del teclado de membrana matricial de 4x5, cara inferior.

### 3.8.2. EL SISTEMA OPERATIVO DE GOOGLE: ANDROID

Android es un sistema operativo inicialmente creado para teléfonos móviles, al igual que iOS, Symbian y Blackberry OS. Su diferencia es que está basado en Linux, un núcleo de sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma [7]. El sistema permite programar aplicaciones en una variación de Java llamada Dalvik. El sistema operativo proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones que accedan a las funciones del teléfono (como el GPS, las llamadas, la agenda, Bluetooth etc.) de una forma muy sencilla en un lenguaje de programación muy conocido como es Java [7]. Los modernos teléfonos inteligentes con conectividad Bluetooth, que disponen del sistema operativo Android, a partir de ahora nos permiten acceder a infinitas aplicaciones que antes requerían de módulos de RF u otros medios de enlace y que, no siempre funcionaban como deseábamos [8]. Con esto es posible diseñar proyectos en electrónica y dotarlos con control remoto vía Bluetooth como se muestra en la figura 24 se puede apreciar la aplicación realizada para el sistema de automatización para el horno de curado UV.



Figura 24. Aplicación java controlando el tablero automatizado.

### 3.8.2.1. PROGRAMACIÓN EN EL ENTORNO ECLIPSE CON LA SDK DE ANDROID

La programación desarrollada para la interfaz móvil se presenta de manera general en el siguiente diagrama de flujo:

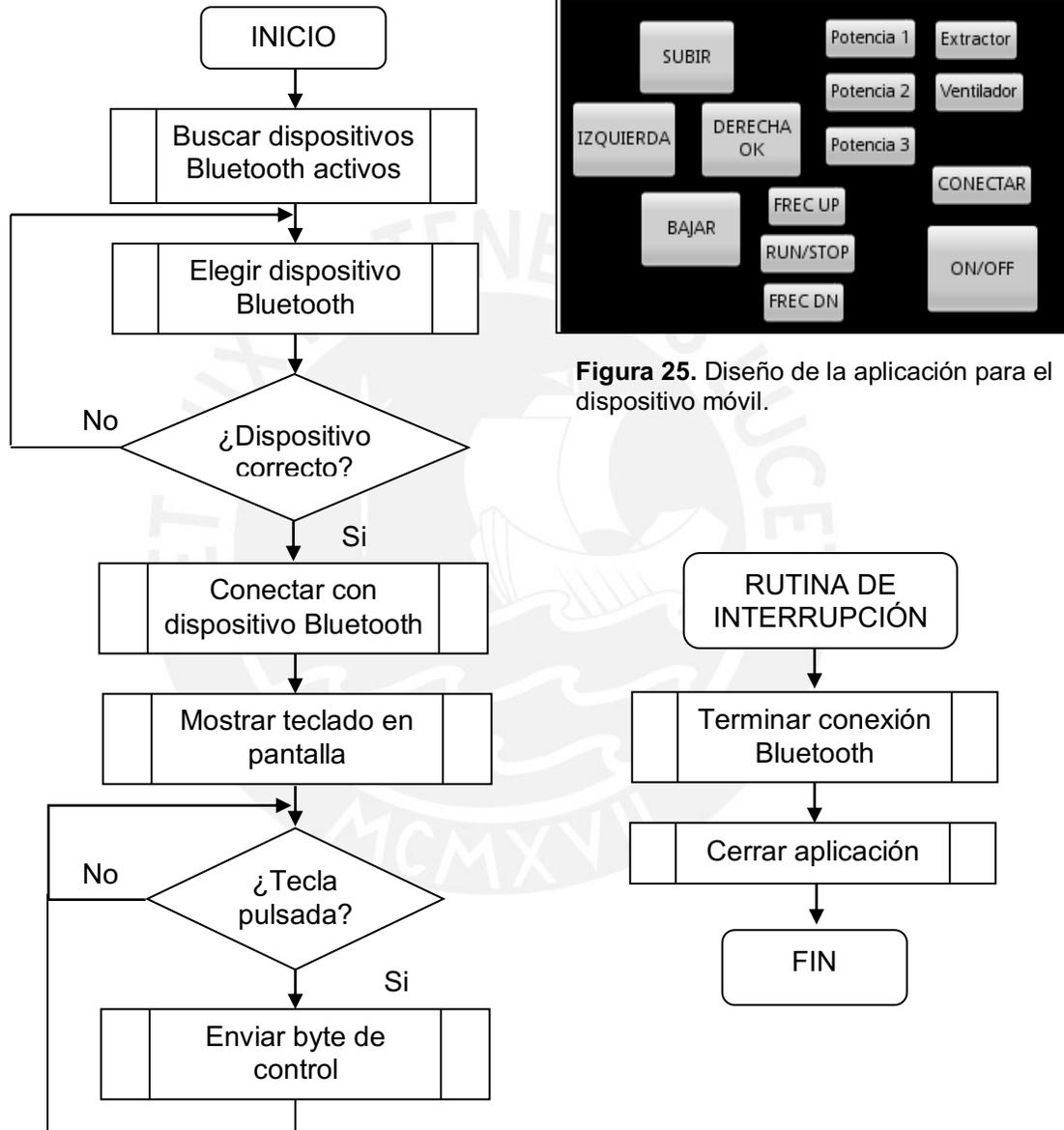
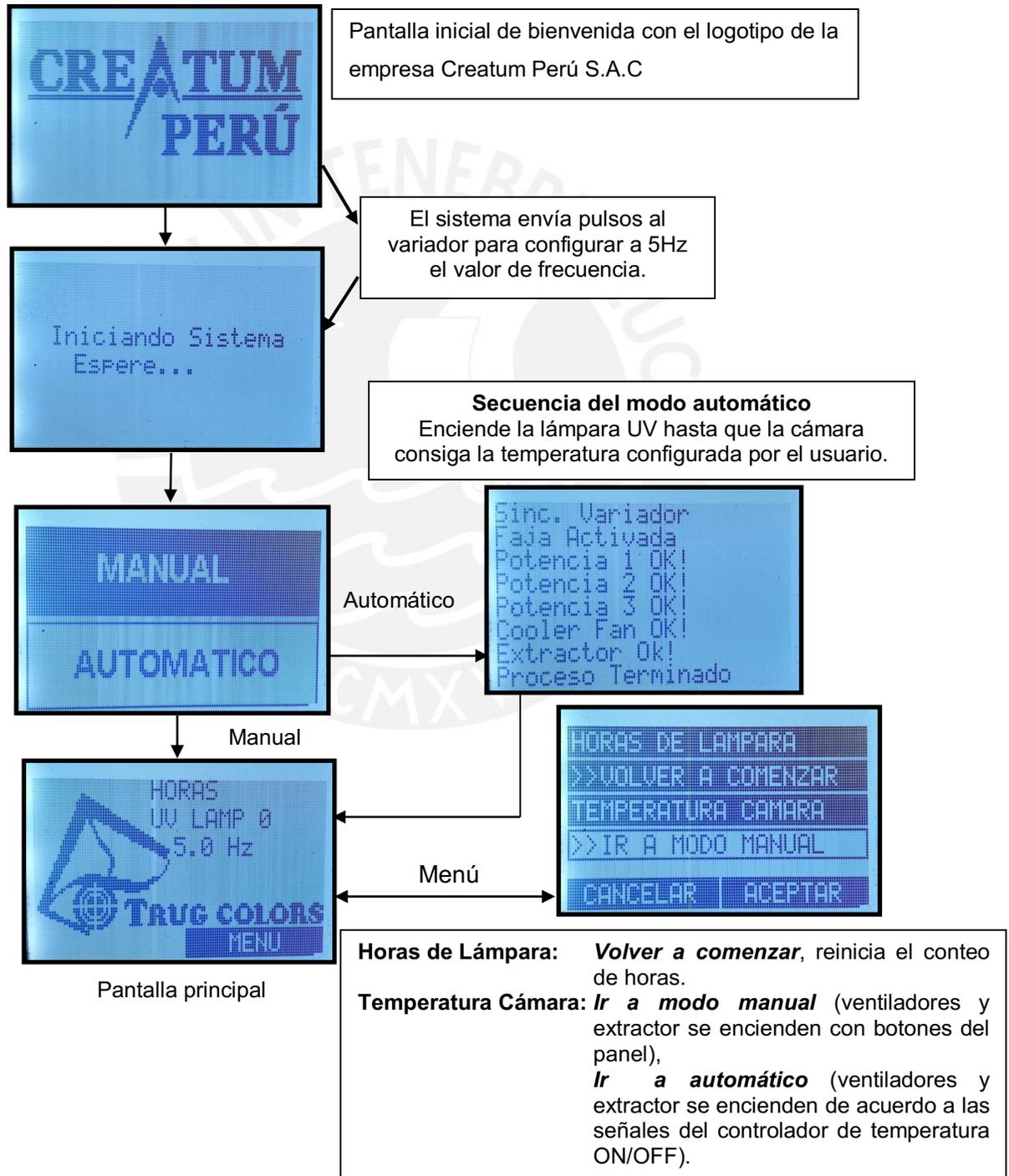


Figura 25. Diseño de la aplicación para el dispositivo móvil.

### 3.8.3. MENÚ DEL LCD GRÁFICO TS12864 CON CONTROLADOR KS0108

La interfaz gráfica está conformada por la pantalla de cristal líquido TS12864 con controlador KS0108. Las principales gráficas realizadas se muestran a continuación.

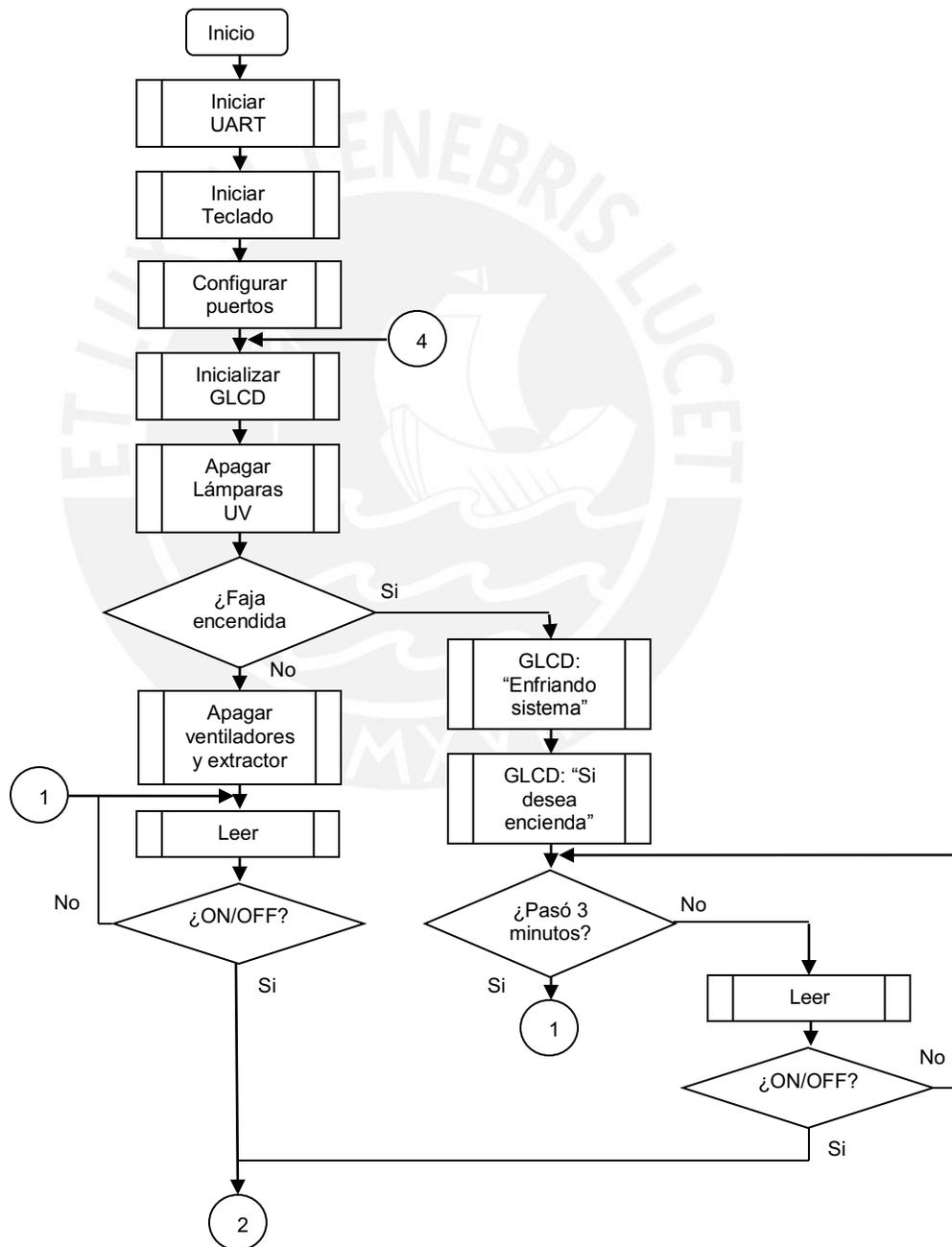
#### 3.9.3.1. CREACIÓN DE MENÚ GRÁFICO

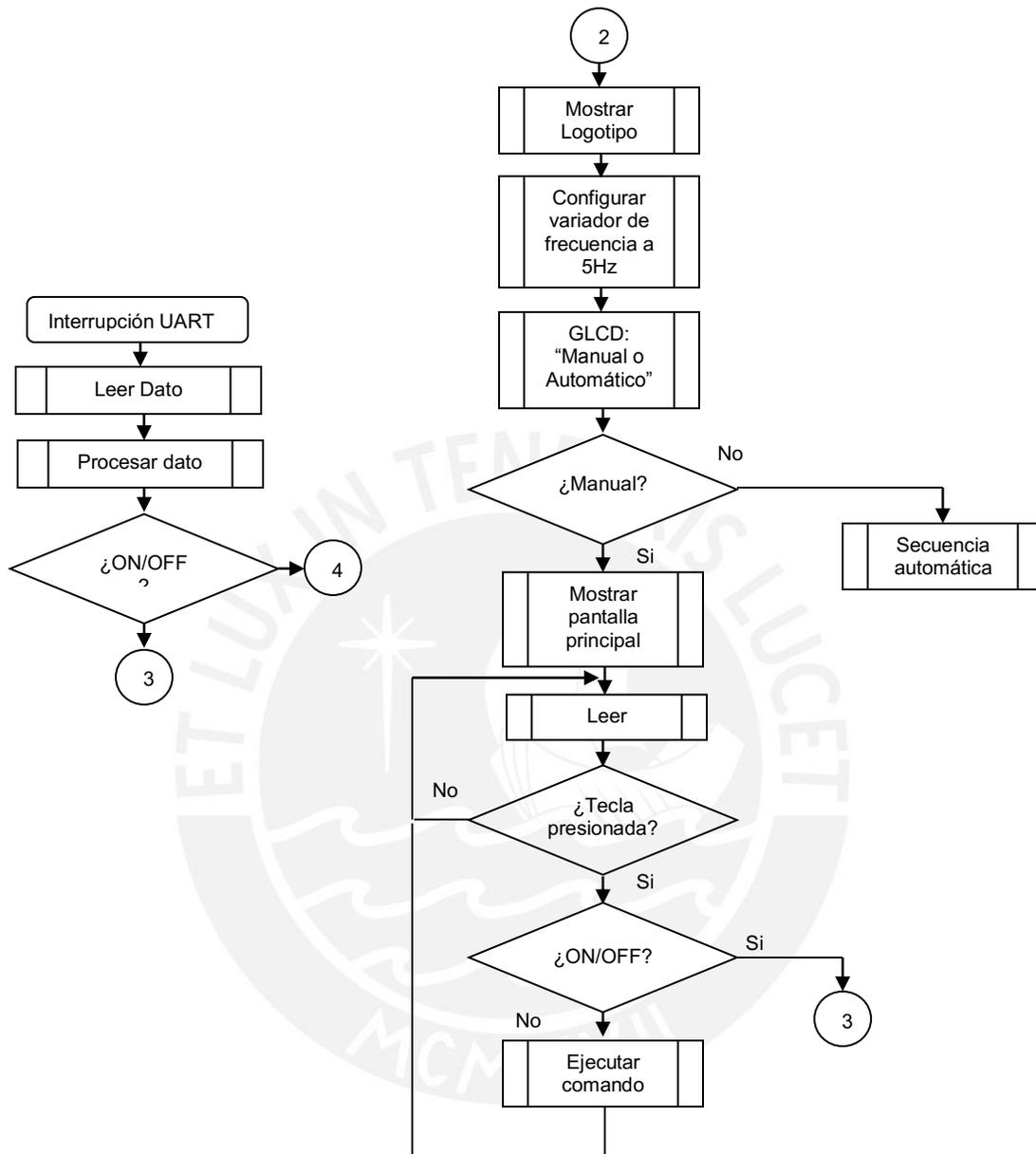


### 3.9. PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO PRINCIPAL

#### 3.9.1. PROGRAMACIÓN DE LA PLACA DE DESARROLLO ARDUINO: PROCESSING

La programación desarrollada para la placa Arduino fue desarrollada en el entorno de desarrollo Arduino IDE mediante el lenguaje de programación *Processing*. Se muestra el diagrama de flujo que sigue la programación general.





El código en lenguaje de programación *Processing* del circuito de control se presenta detalladamente en el anexo 5.

### 3.10. ETAPA DE ALIMENTACIÓN PARA EL CIRCUITO DE CONTROL Y POTENCIA

Las etapas de control y potencia están diseñadas para operar con una fuente de tensión de 5 voltios. La tabla 7 muestra el consumo de corriente de las etapas de control y de potencia, datos necesarios para la elección de una adecuada fuente de tensión.

**Tabla 7.** Consumo de corriente para las etapas de Control y Potencia.

Componentes	Consumo de corriente
<b>Circuito de Potencia</b>	
Consumo máximo (leds, mocs 3041, optoacopladores 4N35, transistores)	<b>Máx. 118 mA</b>
<b>Circuito de Control</b>	
Pantalla gráfica TS12864 con backlight	<b>Máx. 85 mA</b>
Leds del teclado de membrana	<b>Máx. 52 mA</b>
Módulo Bluetooth HC-06	<b>Máx. 50 mA</b>
Arduino mega 2560	<b>Máx. 48 mA</b>
<b>TOTAL</b>	<b>Máx. 353 mA</b>

Los valores de corriente fueron medidos con el instrumento Fluke 179. La placa de potencia considera solamente el control de 6 salidas de potencia y 3 para el control del variador de frecuencia (*run/stop, up frequency, down frequency*). De acuerdo al consumo total de corriente de la etapa digital se elige una fuente de tensión mayor a la calculada. Considerando la relación costo beneficio, tiempo de fabricación y calidad se elige la siguiente fuente regulada.



Marca: Juyin  
 Modelo: JY071270U  
 Entrada: 100-240VAC 1.0A  
 Output power: 5V 0 ~ 5A  
 LED indicador de encendido  
 Precio: 35 soles

**Figura 26.** Adaptador de tensión AC-DC Juyin.

## CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El capítulo siguiente presenta las pruebas realizadas del sistema de automatización; se presenta el método usado para el control de temperatura de la cámara, la exactitud alcanzada con el contador de horas de funcionamiento de la lámpara UV (horómetro), finalmente muestra en una tabla detallada el presupuesto usado en el desarrollo del sistema de automatización para el túnel de curado UV.

### 4.2. CONTROL DE TEMPERATURA

Para obtener resultados de temperatura, se retiró la malla transportadora y se colocó la termocupla debajo de la lámpara ultravioleta.

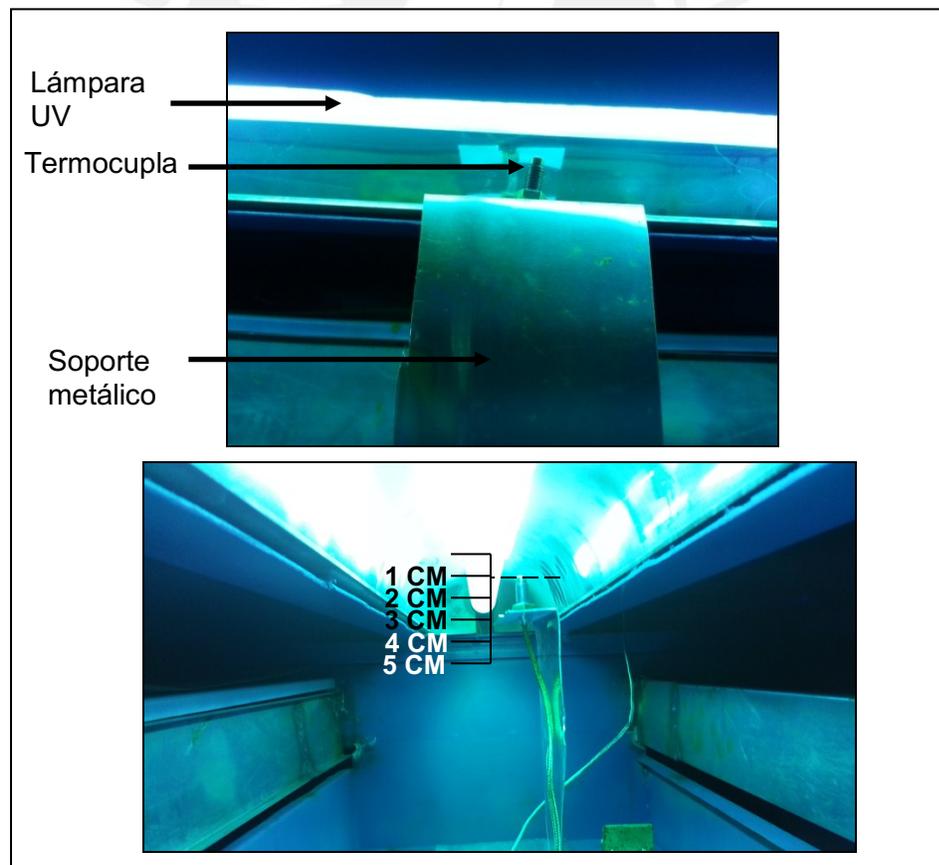
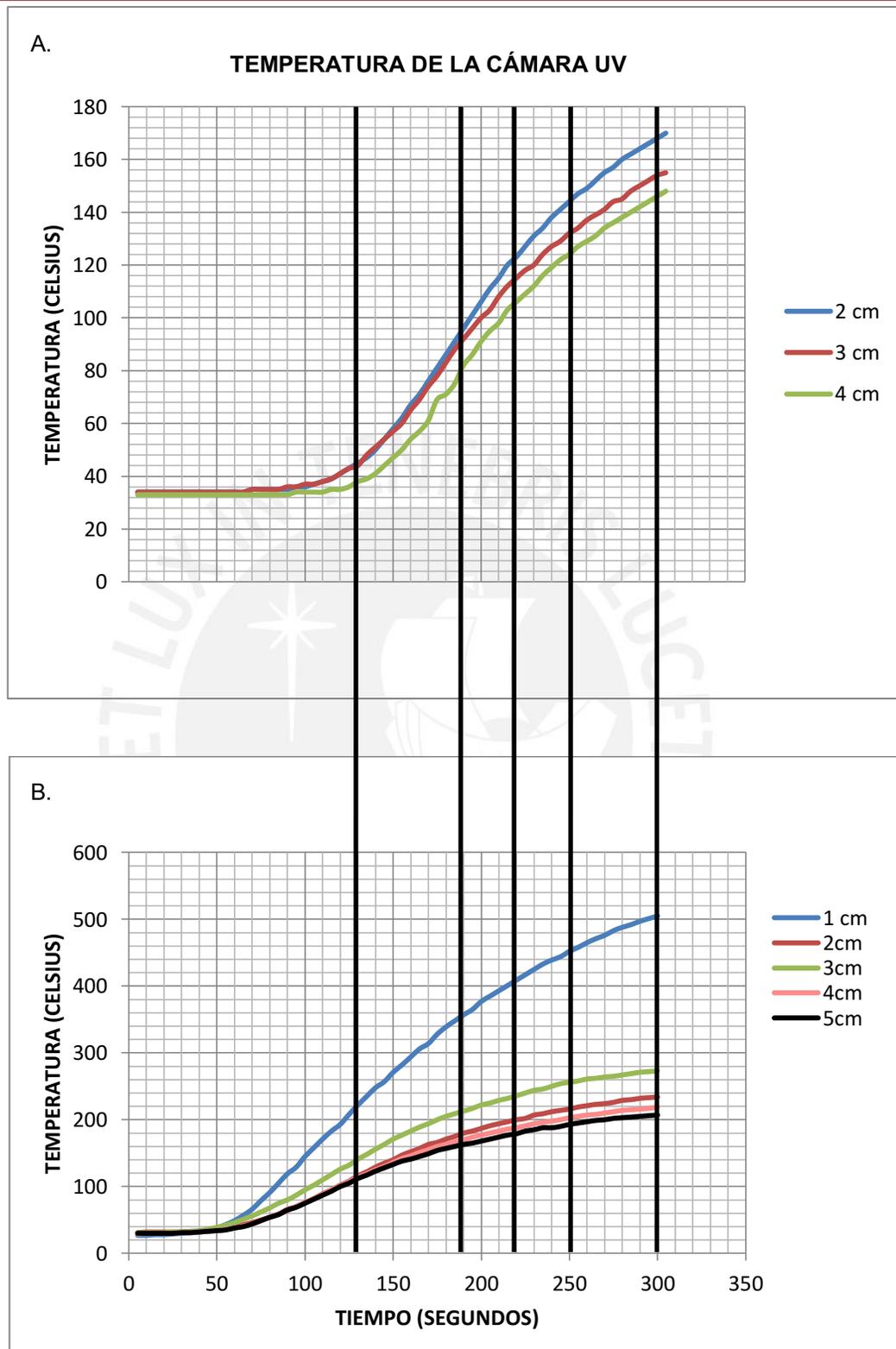
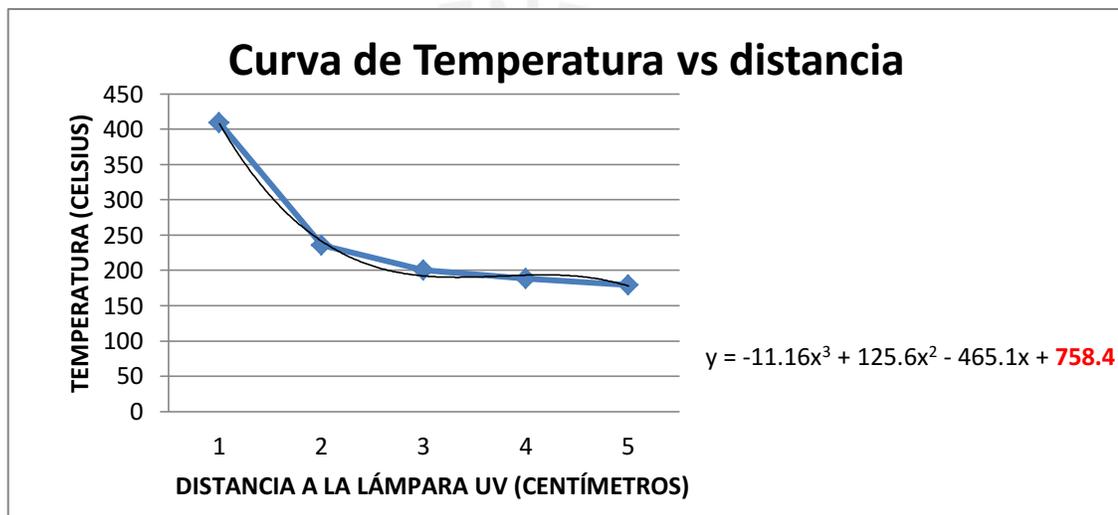


Figura 27. Prueba de temperatura de la lámpara UV.



**Figura 28.** Prueba de temperatura de la lámpara UV (Gráficos), las líneas verticales representan el momento de una prueba de curado UV.

Según el subtema 2.1.2.4, la temperatura de los bordes de la lámpara podría alcanzar una temperatura de 250 °C y la parte central del bulbo una temperatura entre 600 °C y 800 °C. Debido a que no se puede tener contacto con el bulbo, se realizó una medición de temperatura a 2, 3 y 4 centímetros de uno de los bordes de la lámpara y a 1, 2, 3, 4 y 5 centímetros de la parte central del bulbo de la lámpara, se tomaron datos cada 5 segundos que se muestran en el anexo 6. Se realizaron 5 pruebas de curado luego de 130, 190, 220, 250 y 300 segundos de encendida la lámpara (ver figuras 28.A y 28.B). De acuerdo a esto y según la amplia experiencia de un operario, en todos los casos se obtuvieron curados aceptables desde la segunda medición.



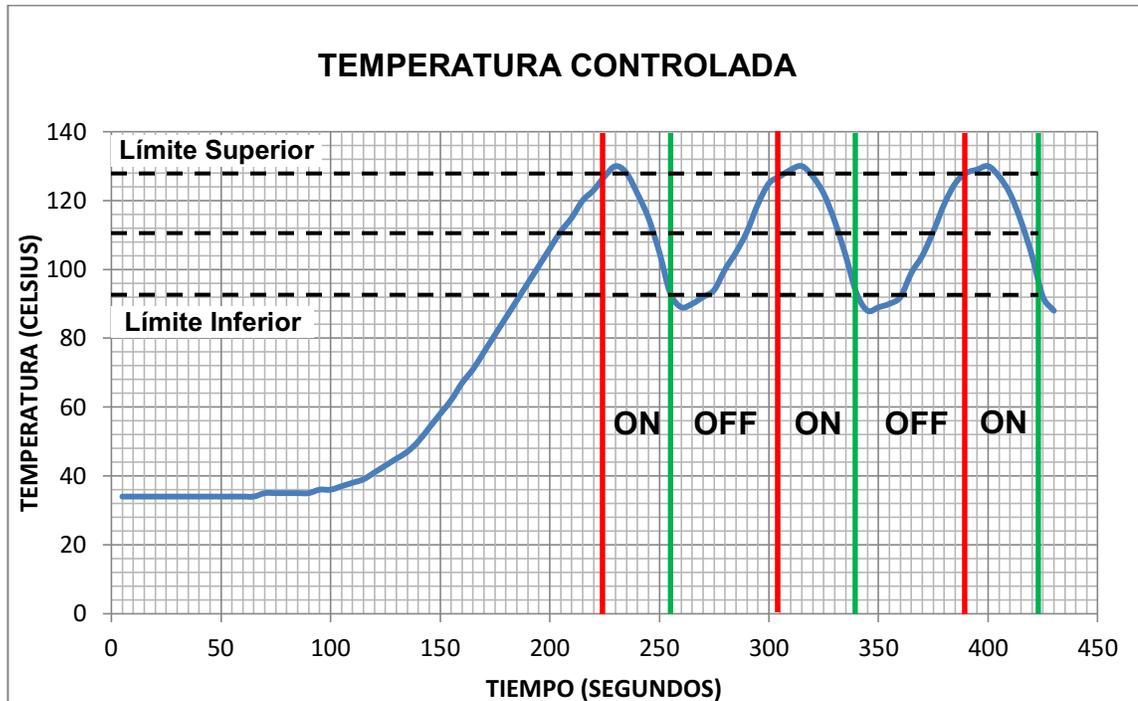
**Figura 29.** Variación instantánea de la temperatura con la distancia.

Específicamente, con los datos de las terceras mediciones para las diferentes distancias, se obtiene la gráfica mostrada en la figura 29. Según nota, con un ajuste polinomial se puede estimar la temperatura para una distancia de cero centímetros de la lámpara igual a 758.4 °C, valor dentro del rango permitido.

De la misma manera, se determinaron que los límites de temperatura sugeridos por el fabricante de las lámparas se llegan luego de aproximadamente 180 y 230 segundos de encendida la lámpara sin refrigeración alguna (ver anexo 7).

Con estos datos se determina que para una medición en el borde de la lámpara a una distancia de 2 centímetros (ver anexo 12) se consigue 88 °C luego de 180 segundos del encendido y 132 °C luego de 230 segundos y de esta manera el controlador de

temperatura podrá tener un rango de 44 °C de variación. Se consigue un ajuste de histéresis de 32 °C, (16 °C superior, 16 °C inferior), temperatura centrada en 110 °C. El resultado se muestra en la gráfica de la figura 30.



**Figura 30.** Curva de temperatura controlada.

Se puede observar que el controlador de temperatura activa a los ventiladores durante un periodo de 40 segundos y los mantiene apagados durante 55 segundos, lo que significa un 57% de ahorro de energía. Se puede ver también, que por la dinámica de la variable temperatura existe un incremento de algunos grados centígrados luego de encender el ventilador y un pequeño descenso luego de apagarlos, estos incrementos se consideraron en el ajuste para mantener el rango de operación.

### 4.3. HORÓMETRO

El control de las horas de uso de la lámpara se basó en el oscilador de cristal de cuarzo de la placa de desarrollo Arduino. Para medir su exactitud se usó la página [www.time.gov/timezone.cgi?Pacific/d/-8](http://www.time.gov/timezone.cgi?Pacific/d/-8), el cual fue usado como fuente de comparación. Se hicieron pruebas durante 10 horas y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 8.** Tabla comparativa entre el reloj Atómico en USA y el reloj del Arduino.

Numero de Medición	Reloj Atómico USA	Reloj Arduino
1	09:11:02	0:00:00
2	10:10:58	0:59:56
3	11:11:01	1:59:59
4	12:11:01	2:59:59
5	13:10:59	3:59:58
6	14:10:58	4:59:57
7	15:10:57	5:59:56
8	16:11:03	7:00:02
9	17:11:01	8:00:00
10	18:11:02	9:00:02
11	18:11:01	10:00:01

De acuerdo a la tabla 7, luego de 10 horas de medición el reloj de la placa de desarrollo Arduino se adelantó 2 segundos respecto del reloj oficial de los estados unidos. Si se hace una proyección a 9999 horas, se conseguirá un error de 1999.8 segundos lo que corresponden a 33.3 minutos, muy por debajo del error propuesto en los requerimientos del sistema. Se debe considerar además que el tiempo promedio de horas de vida de las lámparas UV en condiciones idóneas de operación son de alrededor 900 a 1000 horas.

#### **4.4. EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA**

La empresa CREATUM PERU S.A.C. posee una máquina barnizadora de alta velocidad. Básicamente la producción del curado depende de la eficiencia de la cámara UV y de la correcta operación de la barnizadora UV. Se presentan los resultados con máquina automatizada y una máquina convencional realizados durante una jornada de 12 horas de trabajo barnizando pliegos de papel impreso con un formato de 70 cm x 50 cm.

**Tabla 9.** Tabla comparativa entre una máquina convencional y una máquina automatizada.

Característica	Máquina Convencional	Máquina Automatizada
Pliegos perdidos por accidentes de incineración en la cámara UV.	3 pliegos/hora	1 pliegos/hora
Velocidad de producción	4000 pliegos/hora	5700 pliegos/hora
Consumo de corriente	Hasta 32 amperios (sobre refrigeración)	Hasta 21 amperios (refrigeración controlada)

La tabla 8 muestra que los pliegos incinerados por un atasco dentro de la cámara disminuyen de 3 a solo 1. Debido al control inalámbrico se puede detener la máquina de curado más rápidamente cuando se observe algún accidente, esto además evita que la superficie de la lámpara tenga menos probabilidad de estar expuesta a cenizas lo que puede hacer que la lámpara se dañe.

Se muestra también que la velocidad de producción se incrementó en 1700 pliegos por hora lo que significa un incremento importante de cerca del 42%. Finalmente se obtuvo un ahorro de energía de 10 amperios debido a una temperatura controlada.

#### 4.5. PRESUPUESTO

A continuación se muestra la el presupuesto de este trabajo de tesis

**Tabla 10.** Presupuesto del sistema de automatización del túnel de curado UV.

CANTIDAD	ÍTEM	PRECIO
6	Optoacopladores MOC 3041	S/.18.00
6	Triacs BTA16	S/.15.00
3	Optoacopladores 4N35	S/.03.00
1	Placa de contactores impresa	S/.35.00
1	Arduino Mega 2560	S/.55.00
1	Controlador de temperatura REX-C100	S/.45.00
1	Módulo Bluetooth HC-06	S/.25.00
1	Pantalla gráfica 128x64 pixeles KS0108	S/.50.00
1	Teclado de membrana personalizado	S/.80.00
1	Fuente de tensión	S/.20.00
1	Botón de parada de emergencia	S/.7.00
	Componentes variados	S/.50.00
	Conocimiento ingenieril por sistema desarrollado	S/.3500.00
	<b>TOTAL POR SISTEMA DESARROLLADO</b>	<b>S/.3903.00</b>

## CONCLUSIONES

1. Un control de la temperatura de la lámpara ultravioleta reduce el consumo de energía. Esto debido a que al tratarse de un gas dentro del tubo y de acuerdo a las leyes de la termodinámica, un incremento de temperatura significa un incremento de presión y al existir una relación entre el voltaje y la presión, puesto que el voltaje es significado de una fuerza electromotriz o, en otras palabras, una presión sobre las cargas, la diferencia de potencial de la lámpara se incrementa a mayor temperatura, esto se traduce en un menor consumo de corriente. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 9, donde un consumo mayor de corriente explica una sobre refrigeración de la lámpara; es decir, una menor temperatura de operación.

2. Un control de la temperatura de la cámara aumenta la eficiencia de producción. Esto debido a que la lámpara opera dentro de los rangos especificados por el fabricante. Una máquina sin un control de temperatura consigue un curado del pliego de papel con una mayor exposición a los rayos UV, es decir la faja transportadora debe considerar una menor velocidad. Al poseer un control de temperatura, la eficiencia del curado se incrementa, esto significa un menor tiempo de procesado en la cámara, razón por el cual la faja transportadora puede tener una mayor velocidad y, de esta manera, incrementar la producción de 4000 pliegos/hora a 5700 pliegos/hora.

3. La implementación de un sistema de automatización para el encendido de la lámpara UV mejora la operatividad de la máquina y asegura un curado idóneo, y para el apagado, disminuye el riesgo de una incineración de la malla transportadora. El encendido automático se encarga de activar los ventiladores en el momento adecuado, esto es cuando la temperatura de operación se haya alcanzado. Esto elimina que el operario deba emplear tiempo haciendo pruebas de curado para comenzar a trabajar. Un apagado manual o mediante el botón de emergencia, desactiva la lámpara, enciende los ventiladores y mantiene la malla transportadora en movimiento durante unos minutos, esto evita que la malla se desgaste por quemaduras debido a que la cámara de curado se mantiene caliente durante unos minutos después de apagar la lámpara UV.

## RECOMENDACIONES

1. La interfaz gráfica basada en el sistema operativo Android puede considerar un control de la temperatura; es decir, poder establecer los parámetros de histéresis y temperatura central de manera remota. Para este fin será necesario implementar un control basado en controladores de temperatura industriales con algún tipo de comunicación como es el protocolo RS485, a costa de un incremento en el costo monetario para implementación del sistema de automatización.
2. El manejo de la velocidad de la malla transportadora está basado en un control en lazo abierto, el mismo se puede mejorar si se usa el puerto de comunicaciones RS485 del variador de frecuencia Delta y si se implementa un encoder como sensor de velocidad.
3. Para un mayor control de calidad de la producción, se recomienda el uso de radiómetros con los que se puede tener un mejor control de la eficiencia de las lámparas UV.
4. Se recomienda la implementación de un sensor de presencia de manera que detecte la ausencia de pliegos de papel durante algún tiempo y, de esta manera, controle el ahorro de energía disminuyendo la potencia de la lámpara UV.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CVLAMPS S.A.  
UV en las artes gráficas  
[En línea], Consultado: 10/09/12  
<[www.cvlamps.com/graficas.htm](http://www.cvlamps.com/graficas.htm)>
- [2] Colorbar S.A.  
Todo sobre UV  
[En línea], Consultado: 10/09/12  
<[www.colorbar.es/mq/novedades/todo\\_uv.pdf](http://www.colorbar.es/mq/novedades/todo_uv.pdf)>
- [3] EneMaj S.L. Construcciones mecánicas  
Hornos y túneles de secado ultravioleta  
[En línea], Consultado: 10/09/12  
<[www.lamparasultravioleta.es/m-hornos-tuneles-secado-ultravioleta.html](http://www.lamparasultravioleta.es/m-hornos-tuneles-secado-ultravioleta.html)>
- [4] Lingraf, fabricación de maquinaria gráfica  
[En línea], Consultado: 10/09/12  
<[www.lingraf.com.pe/barnizadoraauv.html](http://www.lingraf.com.pe/barnizadoraauv.html)>
- [5] Mar TradingCorp  
Curado UV  
[En línea], Consultado: 10/09/12  
<[www.mar-trading.com/Amjo/CuradoUV.html](http://www.mar-trading.com/Amjo/CuradoUV.html)>
- [6] GRAFINCA, Feria de proveedores gráficos y publicitarios  
2012 Catálogo
- [7] NIETO GONAZALES, Alejandro  
2011 SISTEMA OPERATIVO ¿QUÉ ES ANDROID?  
[En línea], Consultado: 11/09/11  
<[www.xatakandroid.com/sistema-operativo/que-es-android](http://www.xatakandroid.com/sistema-operativo/que-es-android)>
- [8] Sacco, Mario  
2011 NEOTEQ, Bluetooth + Android + PIC + LED = "Hola Mundo"  
[En línea], Consultado: 16/09/11  
<[www.neoteq.com/bluetooth-android-pic-led-hola-mundo](http://www.neoteq.com/bluetooth-android-pic-led-hola-mundo)>
- [9] Michigan University.  
2008 Proyecto talking points  
[En línea] Consultado: 16/09/11  
<[www.eurekalert.org/pub\\_releases/2008-09/uom-nbs091808.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2008-09/uom-nbs091808.php)>
- [10] ROMERO AGUIRRE, Eduardo. "Circuito decodificador de señales IF de control remoto, para el manejo de aplicaciones en la PC"  
[En línea] Consultado: 16/09/11  
<[www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/v1\\_art2.pdf](http://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/v1_art2.pdf)>

- [11] BLUETOOTH®, “What is bluetooth technology”  
[En línea] Consultado: 16/09/11  
<[www.bluetooth.com/Pages/what-is-bluetooth-technology.aspx](http://www.bluetooth.com/Pages/what-is-bluetooth-technology.aspx)>
- [12] PIEDRA ÁNGELES, Miguel Ángel  
2009 Módulo Bluetooth para microcontroladores  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2009/11/modulo-bluetooth-para-microcontroladores.html](http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2009/11/modulo-bluetooth-para-microcontroladores.html)>
- [13] OCMÍN, Joel, “Control de Temperatura” – Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.proyectosfie.com/html/documentos/ControlTempYoel.pdf](http://www.proyectosfie.com/html/documentos/ControlTempYoel.pdf)>
- [14] MALONEY, Timothy J.  
1983 Electrónica Industrial moderna
- [15] VALVERDE REBAZA, Jorge Carlos  
2007 El Estándar Inalámbrico ZigBee  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf](http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf)>
- [16] MARTÍN MORENO, Javier  
2007 Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe\\_ZigBee.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf)>
- [17] OMRON ELECTRONICS, S.A.  
Guía rápida de relés de estado sólido SSR  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.reitec.es/V2/Pdf/documentacion6.pdf](http://www.reitec.es/V2/Pdf/documentacion6.pdf)>
- [18] WEIKU.Tienda Virtual de componentes electrónicos  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[weiku.com/products/5765100/Solid\\_State\\_Relay\\_SSR\\_Relay.html](http://weiku.com/products/5765100/Solid_State_Relay_SSR_Relay.html)>
- [19] THE ELECTRONICS CLUB, Protection diodes for relays  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.kpsec.freeuk.com/components/relay.htm](http://www.kpsec.freeuk.com/components/relay.htm)>
- [20] Introducción a la automatización de procesos  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.espaciodelconocimiento.com/2%20SA%20CAPITULO%20IX%20INTRODUCCION%20A%20LA%20AUTOMATIZACION%20DE%20PROCESOS.pdf](http://www.espaciodelconocimiento.com/2%20SA%20CAPITULO%20IX%20INTRODUCCION%20A%20LA%20AUTOMATIZACION%20DE%20PROCESOS.pdf)>
- [21] ARDUINO®  
[En línea] Consultado: 17/09/11,  
<[www.arduino.cc/es/](http://www.arduino.cc/es/)>
- [22] Digiquey, productos [En línea] Consultado: 17/09/11, <[www.digiquey.com](http://www.digiquey.com)>

- [22] Delta Electronics, Manual de usuario VDF-E Series,  
[En línea] Consultado: 17/09/11,  
<[www.delta.com.tw/product/em/drive/ac\\_motor/download/manual/VFD-E\\_manual\\_sp.pdf](http://www.delta.com.tw/product/em/drive/ac_motor/download/manual/VFD-E_manual_sp.pdf)>
- [23] CARILLO CAICEDO, Gilberto  
2007 "Protecciones eléctricas"  
[En línea] Consultado: 17/09/11,  
<[ocw.uis.edu.co/ingenieria-electrica-electronica-y-de-telecomunicaciones-1/protecciones-electricas/ProteccionesElectricas/libroproteccionesgcc.pdf](http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-electrica-electronica-y-de-telecomunicaciones-1/protecciones-electricas/ProteccionesElectricas/libroproteccionesgcc.pdf)>
- [24] Fundación para el desarrollo de las Telecomunicaciones, Electrónica y Computación  
2012 "Ruidos en los sistemas con microcontroladores". Coordenadas. Buenos Aires, 2012, volumen No 91, página 23- página 24.
- [25] EPCOS. Productos electrónicos. [En línea] Consultado: 17/09/11,  
<[http://www.epcos.com/inf/30/db/emc\\_fi\\_06/b84112b.pdf](http://www.epcos.com/inf/30/db/emc_fi_06/b84112b.pdf)>
- [26] REYES SÁNCHEZ, Javier Eduardo  
2008 Automatización del sistema de control y monitoreo de un autoclave para el proceso de vulcanización del caucho en calzado de lona. Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [27] MARTÍNEZ TORRES, Miguel Ángel. "Fundamentos de control de equipos"  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.quimtech.com/archivos/Mantenci%F3n\\_Medici%F3n\\_Equipos\\_UV.pdf](http://www.quimtech.com/archivos/Mantenci%F3n_Medici%F3n_Equipos_UV.pdf)>
- [28] LCH, fabricación de maquinaria gráfica  
[En línea] Consultado: 17/09/11  
<[www.maquinariagraficalch.com](http://www.maquinariagraficalch.com)>

## ANEXOS

En el CD-ROM que se adjunta en el documento, se encuentran los archivos a los que hace referencia el documento de tesis. Estos presentan la siguiente estructura:

- Anexo 1a. Diagrama eléctrico original
- Anexo 1b. Tablero de control original
- Anexo 2. Hoja de datos lámpara UV
- Anexo 3. Manual controlador temperatura REX-C100
- Anexo 4. Código java Android
- Anexo 5. Código Processing Arduino
- Anexo 6. Tablas de muestreo de temperatura
- Anexo 7. Curvas de temperatura
- Anexo 8. Tablero de control implementado
- Anexo 9. Manual del variador de frecuencia delta
- Anexo 10. Hoja técnica del optoacoplador 4n35
- Anexo 11. Hoja técnica del moc3041
- Anexo 12. Ubicación del sensor de temperatura
- Anexo 13. Diseño de Circuito Impreso de la etapa de potencia
- Anexo 14. Diagrama Esquemático de la etapa de potencia
- Anexo 15. Diagrama Final del Sistema Automatizado